

SOLUÇÕES TÉCNICAS PARA O REBAIXAMENTO DOS FUNDOS DE CAIS ACOSTÁVEIS

Caso de Estudo do Porto de Leixões

PEDRO MIGUEL MOREIRA DIAS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Fernando Francisco Machado Veloso Gomes

Co-Orientador: Professor Doutor Francisco de Almeida Taveira Pinto

JUNHO DE 2009

SOLUÇÕES TÉCNICAS PARA O REBAIXAMENTO DOS FUNDOS DE CAIS ACOSTÁVEIS

Caso de Estudo do Porto de Leixões

PEDRO MIGUEL MOREIRA DIAS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Fernando Francisco Machado Veloso Gomes

Co-Orientador: Professor Doutor Francisco de Almeida Taveira Pinto

JUNHO DE 2009

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2008/2009

Departamento de Engenharia Civil

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a Mestrado Integrado em Engenharia Civil – 2008/2009 – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais

O conhecimento não serve de nada, a não ser que se ponha em prática

Anton Tchekhov

AGRADECIMENTOS

É desejo do autor deste trabalho expressar de forma sincera os agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram, directa e indirectamente, para a elaboração deste trabalho.

Ao Professor Doutor Fernando Francisco Machado Veloso Gomes, orientador deste trabalho, um agradecimento muito especial pela total disponibilidade, pela constante partilha de conhecimentos e experiências e pelo incessante acompanhamento deste trabalho.

Ao Sr. Eng.º João Pedro Neves, da Administração dos Portos de Douro e Leixões, pela disponibilidade e pelos dados fornecidos, essenciais para a execução deste trabalho.

Aos meus pais, enquanto educadores, pelos valores que me ensinaram a valorizar e pelos sacrifícios que enfrentaram para me possibilitar a conquista de um sonho; e enquanto familiares, pelo amor e carinho que me dedicam ao longo de toda a vida.

À minha irmã, cunhado e sobrinha, pelo apoio constante e pelo bem-estar que senti na realização deste trabalho e pela amizade e amor que demonstram no dia-a-dia.

À minha família, amigos e colegas que me ajudaram, directa e indirectamente, neste trabalho, no curso e na vida.

Finalmente, à minha namorada dedico um agradecimento muito especial por todo o amor, carinho e amizade que me dedica desde o primeiro dia, fundamentais para o meu bem-estar e qualidade de vida; pela força, coragem e personalidade que contribuem para o constante desenvolvimento do meu ser; e por todo o apoio, técnico e moral, para a materialização deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho pretende constituir o ponto de partida e integrar uma série de trabalhos que visam discutir a problemática e encontrar soluções para o rebaixamento dos fundos de cais acostáveis existentes para receberem navios de maior calado.

Abordaram-se, com detalhe, os motivos que provocam a necessidade de evolução dos portos e apresentaram-se algumas das possibilidades que existem para tal.

Enquanto possibilidade para a evolução dos portos, mostraram-se as principais vantagens e desvantagens do rebaixamento dos fundos de cais acostáveis.

Realizou-se uma pesquisa bibliográfica da qual resultou a apresentação de soluções de construção e reabilitação de cais acostáveis, destacando-se as situações com objectivo claro de aumento de profundidade.

Enumeraram-se alguns custos e benefícios associados a estas obras tendo em vista futuras análises económicas de soluções adoptadas.

Mostrou-se a implicação do aumento de profundidade nos valores das acções incidentes sobre a estrutura.

Conclui-se que o investimento na dotação dos portos para a recepção de navios de maior calado se reveste da maior importância para a sua estratégia e para o futuro da economia do meio económico no qual se situa.

O Porto de Leixões, extremamente limitado pelas suas fronteiras físicas (naturais e urbanas), deverá considerar o aprofundamento das cotas de fundação das suas estruturas, particularmente em algumas docas, como um investimento possível e necessário num futuro próximo.

Para o porto em análise foram apresentadas algumas soluções técnicas possíveis e enumerados alguns pontos fortes e fracos de cada opção.

Palavras-Chave: Cais Acostáveis; Aprofundamento; Soluções Construtivas; Calados de Navios;

ABSTRACT

This project intends to be a start of an extended study about the problem beside the deepening of existing wharves for the reception of the new vessels with bigger drafts.

The problem was explained as well the reason why ports needs to invest on their future evolution and the possibilities they have to do that.

Several technical solutions that exists to construct and reinforce wharves were considered.

For cost/benefit analysis, the main variables that are considered indispensable in this kind of investment were presented.

The differences on the conditions between situations before and after deepening the wharf were analyzed.

The investment of ports on providing conditions to the receipt of bigger vessels seems to be relevant for their own strategy and the economic future of the area it is located.

Ports like Porto de Leixões, that are very limited in physic borders, have to look at deepening their existing structures like an indispensable investment in the near future.

In this project it was possible to identify a group of technical solutions that can be considered in Porto de Leixões.

Keywords: Wharves; Quay Walls; Deepening; Constructive Solutions; Vessel Drafts.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. ASPECTOS GERAIS	1
1.2. OBJECTIVOS DO TRABALHO	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
 2. O AUMENTO DAS PROFUNDIDADES DE ACOSTAGEM	 5
2.1. NECESSIDADE DE EVOLUÇÃO DOS PORTOS	5
2.1.1. EVOLUÇÃO DO TRANSPORTE MARÍTIMO	6
2.1.2. CRESCENTE IMPORTÂNCIA DOS TRANSPORTES MARÍTIMOS NA VIDA SOCIOECONÓMICA DOS PAÍSES	12
2.2. POSSIBILIDADES PARA AUMENTO DE CAPACIDADE DE UM PORTO	16
2.2.1. AMPLIAÇÃO DE PORTOS	17
2.2.2. INVESTIMENTO EM EQUIPAMENTOS COM MAIOR CAPACIDADE	20
2.2.3. MELHORIA DAS INFRA-ESTRUTURAS DO PORTO	21
2.2.4. MELHORIA DOS ACESSOS DE/PARA O PORTO	22
2.2.5. INVESTIMENTO EM QUALIFICAÇÃO DA MÃO-DE-OBRA E NOVAS TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO	24
2.2.6. INVESTIMENTO EM SEGURANÇA E AMBIENTE	26
 3. O PORTO DE LEIXÕES	 29
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO PORTO DE LEIXÕES	29
3.1.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSIBILIDADES	30
3.1.2. CAIS E TERMINAIS	31
3.1.3. EQUIPAMENTOS	33
3.2. EVOLUÇÃO DO PORTO DE LEIXÕES	33
3.2.1. HISTÓRIA DO PORTO DE LEIXÕES	33
3.2.2. PLANO ESTRATÉGICO DE DESENVOLVIMENTO DO PORTO DE LEIXÕES	38
3.2.3. PERSPECTIVAS FUTURAS	40
3.3. IMPORTÂNCIA SÓCIO-ECONÓMICA DO PORTO DE LEIXÕES	42

4. A CONSTRUÇÃO/REABILITAÇÃO DE CAIS ACOSTÁVEIS

.....	45
4.1. ASPECTOS GERAIS	45
4.2. SOLUÇÕES TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DE CAIS ACOSTÁVEIS	47
4.2.1. SOLUÇÕES GRAVÍTICAS.....	47
4.2.2. PLATAFORMAS SOBRE ESTACAS E ESTRUTURAS PORTICADAS	55
4.2.3. ESTRUTURAS FLUTUANTES	57
4.2.4. ESTRUTURAS MISTAS	58
4.3. SOLUÇÕES TÉCNICAS DE REFORÇO DE CAIS ACOSTÁVEIS	58
4.3.1. JET GROUTING.....	58
4.3.2. PAREDES DE BETÃO MOLDADAS NO SOLO.....	62
4.3.3. ESTACAS-PRANCHA METÁLICAS	68
4.3.4. ANCORAGENS NO TARDOZ.....	71
4.4. SOLUÇÕES DE APROFUNDAMENTO EXECUTADAS EM PORTOS INTERNACIONAIS	72
4.5. SOLUÇÕES DE REFORÇO EXECUTADAS NO PORTO DE LEIXÕES	73
4.6. ANÁLISE CUSTO/BENEFÍCIO	76
4.6.1. DEFINIÇÃO E OBJECTIVOS	76
4.6.2. PROCESSO E CRITÉRIOS INTERVENIENTES	77
4.6.3. PARTICULARIDADES EM OBRAS PORTUÁRIAS.....	78
4.6.4. ANÁLISE CUSTO/BENEFÍCIO DE PROJECTOS DE APROFUNDAMENTO DE CAIS ACOSTÁVEIS	78

5. APROFUNDAMENTO DE CAIS ACOSTÁVEIS DO PORTO DE LEIXÕES

5.1. CARACTERIZAÇÃO DOS CAIS EXISTENTES	81
5.2. OBJECTIVOS	86
5.3. CONDICIONANTES	86
5.4. SOLUÇÕES ESTUDADAS: PONTOS FORTES E PONTOS FRACOS	88
5.4.1. AVANÇO	88
5.4.2. ANCORAGEM NO TARDOZ	88
5.4.3. NOVA ESTRUTURA ADERENTE	89
5.4.4. REFORÇO DA FUNDAÇÃO.....	90
5.4.5. SOLUÇÕES MISTAS	90
5.5. BASES DE DIMENSIONAMENTO	91
5.5.1. TIPOS DE ACÇÕES APLICADAS EM CAIS ACOSTÁVEIS	91
5.5.2. ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS	93
5.5.3. EFEITO DO REBAIXAMENTO NOS VALORES DAS ACÇÕES	95
5.5.3.1. Peso Próprio	95
5.5.3.2. Impulsos Hidrostáticos	96

5.5.3.3. Impulso de Terras	98
5.5.3.4. Sobrecarga de Utilização	98
5.5.3.5. Acostagem/Amarração.....	99
5.5.3.6. Sobrecarga de Equipamentos.....	100
5.6. METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO	100
5.7. NECESSIDADE DE ANÁLISE ECONÓMICA	101
6. SÍNTESE E CONCLUSÕES	103
6.1. SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
6.2. SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	104
BIBLIOGRAFIA.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - A Caravela - navio construído em madeira e propulsão eólica – Fonte: Wikipedia	6
Fig. 2 - A utilização do metal revolucionou totalmente a construção naval – Fonte: White Star Ships..	7
Fig. 3 – A invenção do contentor alterou profundamente a actividade portuária – Fonte: David Eppstein.....	8
Fig. 4 – Evolução das características geométricas dos navios porta-contentores – Fonte: U.S.G.S. ...	9
Fig. 5 - Custo por TEU transportado em função da capacidade do navio - Fonte: Cullinane, K. and M. Khanna	10
Fig. 6 - O novo Canal do Panamá permitirá um aumento significativo das dimensões dos navios que o atravessam – Fonte: Eric Kulisch and Chris Dupin (2008)	10
Fig. 7 - Perspectiva da percentagem dos novos porta-contentores - Fonte: Ocean Shipping Consultants.....	11
Fig. 8 - Previsão do custo por tonelada com o aumento infinito da capacidade dos navios	12
Fig. 9 - A escolha de um meio de transporte – Fonte: J.M. Crespo de Carvalho (2002)	13
Fig. 10 - A quota de mercado dos transportes internacionais de Portugal – Fonte: INE.....	14
Fig. 11 - Evolução do volume de mercadorias internacionais em Portugal transportadas pelo meio marítimo – Fonte: IPTM.....	14
Fig. 12 - Preço em euros por cada tonelada transportada em Portugal por meio de transporte utilizado – Fonte: INE	15
Fig. 13 - O impacto das principais rotas marítimas – Fonte: Landscape Architekt.....	16
Fig. 14 - O Porto de Roterdão tem em prática um plano de ampliação (Maasvlakte) – Fonte: Port of Rotterdam Authority	18
Fig. 15 - O Porto de Ferrol (Espanha) encontra-se em fase de ampliação – Fonte: Autoridad Portuaria de Ferrol	19
Fig. 16 - Ampliação do Porto de Barcelona – Fonte: Autoritat Portuaria de Barcelona.....	20
Fig. 17 - Equipamentos que permitem flexibilidade no manejo de contentores – Várias Fontes.....	20
Fig. 18 - Equipamentos que permitem a descarga mais célere dos navios – Várias Fontes.....	21
Fig. 19 - Rampa Roll-On/Roll-Off	22
Fig. 20 - O Porto de Göteborg conta já com um terminal ferroviário – Fonte: West Sweden Seaports.....	23
Fig. 21 - A construção da VILPL alterou claramente a eficácia da ligação entre o porto e a rede de estradas – Fonte: APDL	23
Fig. 22 - A formação da APDL tem contribuído consideravelmente para a evolução do Porto de Leixões – Fonte: APDL	24
Fig. 23 - A Kalmar encontra-se em fase de comercialização de sistemas automáticos de manuseamento de contentores – Fonte: Kalmar	25

Fig. 24 - A nova portaria torna mais rápida e simples a entrada e saída de viaturas pesadas de carga do Porto de Leixões – Fonte: APDL	26
Fig. 25 - Relação da carga movimentada nos principais portos portugueses – Fonte: IPTM	29
Fig. 26 - Localização do Porto de Leixões – Fonte: APDL.....	31
Fig. 27 – Vista aérea do Porto de Leixões – Fonte: APDL.....	32
Fig. 28 - Cais da Alfândega (Porto Fluvial do Douro) – Fonte: Navios à Vista	33
Fig. 29 - O Porto de Leixões em 1892 – Fonte: Biblioteca Nacional de Portugal.....	34
Fig. 30 - O Porto de Leixões em 1940 - Fonte: APDL.....	35
Fig. 31 - O Porto de Leixões em 1977 - Fonte: APDL.....	36
Fig. 32 - O Porto de Leixões em 1987 - Fonte: APDL.....	36
Fig. 33 - O Porto de Leixões em 2004 - Fonte: APDL.....	37
Fig. 34 - O Porto de Leixões actualmente - Fonte: APDL	37
Fig. 35 - Planta geral da Acção 01 - Fonte: APDL	39
Fig. 36 - Planta geral da acção 02 - Fonte: APDL.....	40
Fig. 37 - Esquema de um processo de análise tendo em vista o desenvolvimento do porto	41
Fig. 38 - Evolução da percentagem dos navios que transitaram nos principais portos nacionais – Fonte: IPTM	43
Fig. 39 - Evolução da distribuição das mercadorias pelos portos nacionais – Fonte: IPTM.....	43
Fig. 40 - Volume de cargas e descargas nos principais portos portugueses em 2008 – Fonte: IPTM	44
Fig. 41 - Dutch Harbor, 1912 - Fonte: US Navy	45
Fig. 42 - Cais gravítico com recurso a blocos maciços de betão – Fonte: Veloso-Gomes.....	48
Fig. 43 - Blocos NOREF – Fonte: Laboratório de Hidráulica da FEUP.....	49
Fig. 44 - Solução em caixões celulares – Fonte: Veloso-Gomes	49
Fig. 45 - Aduela (Molhes do Douro) – Fonte: IPTM-2	50
Fig. 46 - Fases de Pré-Fabricação de Aduelas nos Molhes do Douro – Fonte: IPTM-2	51
Fig. 47 – Esquemas de execução de caixões celulares de betão armado para os Molhes do Douro – Fonte: IPTM-2.....	52
Fig. 48 - Imagens da execução dos caixotões para o Molhe Norte do Douro - Fonte: IPTM-2.....	53
Fig. 49 - Armazenamento de Aduelas e Caixões do Molhe Norte do Douro - Fonte: IPTM-2.....	53
Fig. 50 - Quebramento e dragagem de rocha no Molhe Norte do Douro - Fonte: IPTM-2	54
Fig. 51 - Transporte e colocação das aduelas no Molhe Norte do Douro - Fonte: IPTM-2	54
Fig. 52 - Transporte e colocação dos caixotões do Molhe Norte do Douro - Fonte: IPTM-2.....	55
Fig. 53 - Exemplo de um cais apoiado sobre estacas - Fonte: HPA.....	55
Fig. 54 - Equipamentos de execução de estacas - Furação e Cravação – Fonte: Soilmec	57

Fig. 55 - As estruturas flutuantes são vulgarmente utilizadas em marinas.....	57
Fig. 56 - Exemplo de uma estrutura mista	58
Fig. 57 - Sistemas de Jet-Grouting – Fonte: Joana Rodrigues Carreto.....	59
Fig. 58 - Condições de cada tipo de Jet-Grouting em solos incoerentes – Fonte: Joana Rodrigues Carreto.....	60
Fig. 59 - Condições de cada tipo de Jet-Grouting em solos coesivos – Fonte: Joana Rodrigues Carreto.....	60
Fig. 60 - Fases do Jet-Grouting – Fonte: Joana Rodrigues Carreto.....	61
Fig. 61 - Exemplos de aplicação da técnica do Jet Grouting – Fonte: Joana Rodrigues Carreto	62
Fig. 62 - Tensões actuantes e resistentes	63
Fig. 63 - Fases de execução de uma parede moldada – Fonte: Soletanche-Bachy	64
Fig. 64 - Muros-Guia	64
Fig. 65 - Escavação por circulação – Fonte: F. Guedes de Melo	66
Fig. 66 - Equipamentos de escavação por balde – Fonte: Soilmec.....	66
Fig. 67 - Ordem de execução das paredes moldadas (Contínua e Alternada) – Fonte: F. Guedes de Melo.....	67
Fig. 68 - Esquema de cravação de Estacas-Prancha – Fonte: Martins e Aguiar, 2005	69
Fig. 69 - Equipamento de cravação de Estacas-Prancha – Fonte: Soilmec	70
Fig. 70 - As ancoragens permitem um incremento de resistência em estruturas de contenção de solos	71
Fig. 71 - Perfil Transversal actual da Doca nº4 Sul – Fonte: APDL.....	75
Fig. 72 - Perfil Transversal do novo Terminal Multiusos – Fonte: APDL	76
Fig. 73 - Mapa do Porto de Leixões	81
Fig. 74 - Vista aérea da Doca nº1	82
Fig. 75 - Perfis de soluções gravíticas da Doca nº1 (Perfis 8, 9, e 10) – Fonte: APDL.....	83
Fig. 76 - Perfis transversais das zonas intervencionadas que tinham muros em arcadas (Perfis 11 e 12) – Fonte: APDL.....	83
Fig. 77 - Perfil do Terminal Polivalente – Fonte: APDL	84
Fig. 78 - Vista aérea da Doca nº2	85
Fig. 79 - Cais sobre estacas e Cais Tipo-Dinamarquês existentes na Doca nº2 (Perfis 13 e 14) – Fonte: APDL.....	85
Fig. 80 - Perfis transversais das soluções gravíticas existentes na Doca nº2 (Perfis 15 e 16) – Fonte: APDL	86
Fig. 81 - Acções permanentes em cais acostáveis.....	91
Fig. 82 - Acções Variáveis Actuantes em Cais Acostáveis.....	92

Fig. 83 - Derrubamento de uma estrutura de suporte de terras.....	93
Fig. 84 - Rotura por escorregamento pela base.....	94
Fig. 85 - Rotura da fundação.....	94
Fig. 86 - Rotura por escorregamento global.....	95
Fig. 87 - Efeito do aumento de profundidade na variável "Peso Próprio"	96
Fig. 88 - Variação dos níveis de água (lado exposto) e nível freático (lado protegido) num cais acostável.....	97
Fig. 89 - Efeito do aprofundamento sobre a variável "Impulsos Hidrostáticos"	97
Fig. 90 - Efeito do aprofundamento na variável "Impulso de Terras"	98
Fig. 91 - Efeito do aprofundamento na variável "Sobrecarga"	99
Fig. 92 - Efeito do aprofundamento sobre a variável "Força de Acostagem/Amarração"	99
Fig. 93 - Efeito do aumento de profundidade na variável "Sobrecarga de Equipamentos"	100
Fig. 94 - A escolha da solução técnica a adoptar	101

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos terminais do Porto de Leixões – Fonte: APDL.....	32
Tabela 2 - Soluções adoptadas em outras obras de reforço/aprofundamento de cais	72
Tabela 3 – Pontos Fortes e Pontos Fracos da Solução “Avanço”	88
Tabela 4 – Pontos Fortes e Pontos Fracos da Solução “Ancoragem no Tardo”	89
Tabela 5 – Pontos Fortes e Pontos Fracos da Solução “Nova Estrutura Aderente”	89
Tabela 6 – Pontos Fortes e Pontos Fracos da Solução “Reforço da Fundação”	90
Tabela 7 – Pontos Fortes e Pontos Fracos da Solução “Soluções Mistas”	90

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

d – Profundidade da água junto do cais acostável

d' – Aumento da profundidade da água junto do cais acostável por aprofundamento dos fundos

F_{pp} – Peso próprio da estrutura

F_{r1} e F_{r2} – Força exercida pelos equipamentos de estivagem

F_s – Força exercida pelos solos sobre a estrutura

F_{sq} – Força exercida sobre a face protegida da estrutura provocada pela sobrecarga de utilização

F_v – Força de acostagem/amarração dos navios

$F_{w(b)}$ – Força aplicada pelos impulsos hidrostáticos na face inferior do cais acostável

$F_{w(e)}$ – Força aplicada pelos impulsos hidrostáticos na face exposta do cais acostável

$F_{w(i)}$ – Força aplicada pelos impulsos hidrostáticos na face protegida do cais acostável

F'_{pp} – Aumento do próprio devido ao aumento de profundidade

F'_{r1} e F'_{r2} – Força exercida pelos equipamentos de estivagem após aprofundamento do cais acostável

F'_s – Força exercida pelos solos sobre a estrutura após aprofundamento

F'_{sq} – Força exercida sobre a face protegida da estrutura provocada pela sobrecarga de utilização após aprofundamento

F'_v – Força de acostagem/amarração dos navios após aprofundamento do cais acostável

$F'_{w(b)}$ – Força aplicada pelos impulsos hidrostáticos na fase inferior do cais acostável após aprofundamento

$F'_{w(e)}$ – Força aplicada pelos impulsos hidrostáticos na fase exposta do cais acostável após aprofundamento

$F'_{w(i)}$ – Força aplicada pelos impulsos hidrostáticos na fase protegida do cais acostável após aprofundamento

h – Variação do nível de água entre o lado exposto e o lado protegido de um cais acostável

h_l – Profundidade do nível da lama bentonítica

h_w – Profundidade do nível freático

p – Sobrecarga uniforme

$\sigma_{h,a}$ – Tensão normal, horizontal, exercida pela água

$\sigma_{ha,s}$ – Tensão normal, horizontal, activa, exercida pelo solo devido ao seu peso próprio

$\sigma_{ha,sc}$ – Tensão normal, horizontal, activa, exercida pelo solo devido à sobrecarga

$\sigma_{h,l}$ – Tensão normal, horizontal, exercida pela lama

σ_{pp} – Tensão devida ao peso próprio do cais acostável

σ_s – Impulso de terras na face protegida do cais acostável

σ_{sq} – Sobrecarga de utilização

$\sigma_{w(b)}$ – Impulsos hidrostáticos aplicados na face inferior do cais acostável

$\sigma_{w(e)}$ – Impulsos hidrostáticos aplicados na face exposta do cais acostável

$\sigma_{w(i)}$ – Impulsos hidrostáticos aplicados na face protegida do cais acostável

σ'_{pp} – Aumento da tensão devida ao peso próprio do cais acostável

σ_s – Impulso de terras na face protegida do cais acostável após aprofundamento

$\sigma'_{w(b)}$ – Impulsos hidrostáticos aplicados na face inferior do cais acostável após aprofundamento

$\sigma'_{w(e)}$ – Impulsos hidrostáticos aplicados na face exposta do cais acostável após aprofundamento

$\sigma'_{w(i)}$ – Impulsos hidrostáticos aplicados na face protegida do cais acostável após aprofundamento

APDL – Administração de Portos de Douro e Leixões

BMAV – Baixa-Mar de Águas Vivas

DGERT – Direcção-Geral do Emprego e das Relações de Trabalho

DWT – Porte de um navio

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

GT – Tonelagem Bruta de um Navio

INE – Instituto Nacional de Estatística

INESC – Instituto Nacional de Sistemas e Computadores

IPTM – Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos

PCom – Plataforma Comum

PIP'e – Procedimento e Informação Portuária Electrónica (Porto de Leixões)

PMAV – Preia-mar de Águas Vivas

SCOPE – Sistema da Comunidade Portuária Electrónica (Porto de Leixões)

SWOT – Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats (pontos fortes, pontos fracos, oportunidades, ameaças)

TEU – Twenty-foot Equivalent Unit (Unidade equivalente a vinte pés)

ZHL – Zero Hidrográfico de Leixões

INTRODUÇÃO

1.1. ASPECTOS GERAIS

A história mostra-nos que a actual realidade dos portos difere muito da que existia há alguns séculos atrás.

Durante o período dos descobrimentos, fase em que grandes potências coloniais se formaram, os portos eram principalmente grandes centros de partida e chegada de pessoas e mercadorias. O comércio era essencialmente interno ao império e as operações portuárias eram suportadas por entidades públicas sem qualquer preocupação relacionada com sustentabilidade económica. A concorrência entre portos era diminuta e o incentivo ao investimento na melhoria da eficiência era reduzido.

As principais preocupações debruçavam-se sobre a fase de viagem nomeadamente no aumento de segurança. Os constantes naufrágios com evidentes prejuízos económicos e humanos pressionavam as autoridades ao investimento nessa fase do transporte.

Os bons resultados obtidos com o investimento na segurança conjugados com a aceleração do desenvolvimento económico dos povos foram alterando as orientações do investimento das autoridades.

A passagem para uma vida em sociedade de trocas comerciais intensas e exigentes fez alterar profundamente a posição das autoridades portuárias e o destino do investimento. Aquelas que eram apenas entidades gestoras tornaram-se necessariamente concorrentes esgrimindo entre si argumentos económicos tendo como perspectiva a angariação de novos clientes e a fidelização dos já existentes. Por outro lado, a existência de uma economia sedenta de redução de custos alargou as preocupações das autoridades para as operações portuárias.

A competitividade norteou as autoridades para a melhoria da eficiência dos portos através da redução dos custos de manuseamento de carga e da integração dos serviços portuários em cadeias logísticas globais.

Simultaneamente, assistiu-se a um intenso desenvolvimento no sector da engenharia naval. Os maiores estaleiros procuram acompanhar a evolução do mercado e vêem no aumento de eficiência dos seus navios a melhor resposta ao acréscimo de exigência dos clientes. Para tal, têm optado essencialmente pelo desenvolvimento de novos projectos que se destacam pelas grandes dimensões, pelas grandes capacidades de carga e pela arquitectura das embarcações.

Estes novos super-navios têm colocado algumas autoridades num grande dilema sobre a forma como se preparar para os receber: reabilitando as estruturas existentes; alargando os portos e construindo novas estruturas de acostagem; construir novos portos projectados de base com tal objectivo.

Estes desenvolvimentos têm provocado uma alteração no custo associado a cada fase do transporte marítimo. A tendência inverteu-se e actualmente os custos de operação dos portos apresentam uma importância maior para o preço global do transporte.

No futuro perspectiva-se um aumento do número de super-navios que circulam diariamente nas grandes auto-estradas marítimas. Por esse motivo, os portos terão necessariamente que investir no aumento da sua capacidade e eficiência para que a influência das suas actividades tenha um papel cada vez mais secundário no preço final do transporte.

1.2. OBJECTIVOS DO TRABALHO

Debruçando-se sobre a problemática do aumento das dimensões dos navios e na forma como os portos se poderão dotar para os receber, este trabalho procura funcionar como base de um estudo alargado da situação nacional com especial destaque para o Porto de Leixões.

Para esta fase ainda primitiva este trabalho apresenta três objectivos: justificar este tipo de obras apresentando os dados históricos que provocam a necessidade de aumentar a profundidade dos portos; apontar as implicações estruturais de uma obra de aprofundamento de cais acostáveis; indicar soluções técnicas possíveis mostrando alguns dos pontos fortes e fracos que lhes estão associados.

Começar-se-á por identificar as necessidades de aprofundamento de cais acostáveis procurando encontrar as justificações para as obras que se vão realizando um pouco por todo o mundo. Para tal pretende-se obter dados estatísticos e históricos sobre a evolução dos transportes marítimos e dos próprios navios.

Irá averiguar-se se as mesmas se sucedem no Porto de Leixões ao ponto de tornar necessário proceder-se da mesma forma.

Tentar-se-á, de seguida, coligir um conjunto de soluções técnicas de aprofundamento de cais acostáveis adoptadas a nível internacional. Procura-se dessa forma reunir um conjunto de casos de estudo classificando-os segundo as tipologias das soluções adoptadas.

Paralelamente, este trabalho descreverá o Porto de Leixões com particular dedicação à caracterização dos cais acostáveis existentes e às obras de reabilitação que sofreram ao longo da história do porto.

Numa segunda fase, avaliar-se-á as alterações nas acções devidas à variação das cotas de fundação dos cais acostáveis. Procurar-se-á perceber qual o impacto do aprofundamento em cada uma das acções actantes sobre uma estrutura deste tipo e caracteriza-lo como benéfico ou prejudicial para a sua estabilidade.

Com base nas soluções que se considerem passíveis de ser adoptadas no Porto de Leixões, executar-se-á uma breve descrição da solução e apresentar-se-á os principais pontos fracos e os principais pontos fortes que lhes estão associados.

Por fim, apresentar-se-á um conjunto de recomendações para futuros trabalhos e, eventualmente, para futuros projectos que visem o aumento de profundidades em cais acostáveis existentes.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Para que seja possível conjugar-se a complexidade do tema à necessidade de simplicidade de apresentação deste trabalho, o autor considerou coerente dividi-lo em quatro capítulos.

No primeiro capítulo, intitulado “O Aumento das Profundidades de Acostagem”, procurar-se-á analisar a problemática que deu origem às várias obras que têm sido executadas em vários portos do mundo com o objectivo de aprofundar cais acostáveis. Ainda neste capítulo inicial, analisar-se-á a situação actual do transporte marítimo e perspectivar-se-á o seu futuro tentando-se expor as possibilidades que existem para a evolução deste sector.

Num capítulo seguinte, com título “O Porto de Leixões” irá proceder-se a uma caracterização extensiva do principal porto do norte de Portugal. Neste capítulo conjugar-se-ão temas diversos como uma análise do passado, presente e futuro do porto; uma caracterização das suas instalações e equipamentos; e uma análise da sua importância para o mercado onde está inserido.

O capítulo seguinte, o terceiro, procurará debater com pormenor a problemática patente no seu título “A Construção/Reabilitação de Cais Acostáveis”. Nele irá proceder-se a duas análises distintas: técnica e económica. A nível técnico irá apresentar-se as diferentes soluções que existem quer para a construção de novos cais quer para o reforço cais já existentes. Irá também proceder-se à apresentação de um conjunto de soluções técnicas usadas para reforço de cais acostáveis, quer a nível internacional quer no próprio Porto de Leixões.

O capítulo final debruçar-se-á com maior dedicação ao porto alvo deste trabalho. Nele serão caracterizados com maior pormenor os cais existentes e estudar-se-á uma série de possibilidades para o seu aprofundamento. Serão apresentados os pontos fortes e pontos fracos de cada solução assim como as principais variáveis na tomada de decisão. Irá também proceder-se à descrição de objectivos e condicionantes que poderão estar relacionados com esta obra. Mostrar-se-á as mudanças ao nível do carregamento das estruturas e as condições de estabilidade das mesmas.

2

O AUMENTO DAS PROFUNDIDADES DE ACOSTAGEM

2.1. NECESSIDADE DE EVOLUÇÃO DOS PORTOS

O principal objectivo de um porto é proporcionar acesso competitivo de mercadorias e passageiros aos mercados regionais, nacionais e internacionais, promovendo a melhoria da qualidade de vida da região em que se insere.

Distante se encontra a época cuja economia se caracterizava pela pouca dispersão de produtos. Nessa altura, os povos procuravam essencialmente encontrar a melhor forma de utilizar os bens que conseguiam obter nas redondezas mais próximas. Eram tempos em que a haver trocas comerciais, eram maioritariamente de cariz local com algumas excepções que alargavam esse âmbito à região ou ao país.

Com o desenrolar da história, os povos sentiram a necessidade de ultrapassar as barreiras naturais e alargar os seus territórios a novas culturas. Surgiram então grandes impérios espalhados por vários pontos do globo o que fomentou o aumento das distâncias de transporte. Os impérios sentiram necessidade de trocar mercadorias ainda internamente, na grande maioria dos casos.

Actualmente, a vida numa era de economia globalizada tornou as sociedades dependentes da movimentação de mercadorias para a sua subsistência e sobrevivência. Do mesmo modo, a eficiência e fiabilidade dos sistemas de transportes é variável directa para a estabilidade e competitividade da economia dos países.

No futuro, perspectiva-se então um exponencial investimento nesta área da economia. Os países procurarão que os seus transportes se caracterizem por elevados índices de competitividade e cada meio deverá procurar potencializar as suas vantagens e contornar as suas fragilidades. No caso do transporte marítimo, apresentam-se alguns exemplos:

- Maior capacidade dos navios obtendo-se assim uma redução do custo por unidade de produto transportado;
- Maior velocidade de ponta proporcionando um tempo de transporte mais curto;
- Dotação dos portos de meios informáticos que aumentem a sua eficiência;
- Formação profissional dos intervenientes;
- Promoção do transporte marítimo de curta distância;
- Aumento de capacidade dos portos (estruturas e equipamentos);
- Melhoria das condições de acesso por terra ao porto para reduzir o inconveniente associado à falta de flexibilidade do transporte marítimo.

Ainda no seio dos transportes marítimos, verifica-se que a principal orientação dos estaleiros mundiais tem sido igualmente no aumento da competitividade. Assim, depois da especialização dos navios e das novas configurações dos cascos, surgem constantemente notícias de navios com maiores dimensões procurando-se dessa forma apresentar aos actuais e potenciais clientes melhores resultados ao nível do custo de transporte. Este fenómeno tem levado os países a tomarem importantes decisões no seio das autoridades marítimas: construção de novos portos ou aumento da capacidade de portos existentes.

2.1.1. EVOLUÇÃO DO TRANSPORTE MARÍTIMO

Com o aparecimento de hábitos sedentários, nos finais da Pré-história, os povos fixaram-se preferencialmente em terrenos de maior fertilidade tendo em vista a possibilidade de se auto-sustentarem através da agro-pecuária. Por esse motivo, desenvolveram-se aglomerados de pessoas ao longo das margens de rios e lagos.

Ainda assim, numa primeira fase, os ambientes aquáticos vizinhos ainda eram vistos como um obstáculo à mobilidade, à descoberta e ao intercâmbio; uma barreira natural para a qual não tinham, ainda, encontrado forma de transpor.

Os primeiros passos para superar tal dificuldade resumiram-se à procura de materiais com capacidade de flutuação. Simultaneamente, foram procurando moldar esses materiais e observando o efeito que tais alterações provocavam na capacidade de flutuação do conjunto. Foi dessa forma que foram surgindo as primeiras embarcações que, segundo descobertas arqueológicas, foram usadas pela primeira vez há mais de 10000 anos.

Desde logo os povos se aperceberam que estavam perante um meio de transporte indispensável para a sua evolução e para o seu desenvolvimento. Poderiam dessa forma explorar territórios até aí desconhecidos e transportar matérias-primas de forma mais directa.



Fig. 1 - A Caravela - navio construído em madeira e propulsão eólica – Fonte: Wikipedia

Ainda assim, só no século XVII se dá a grande revolução da engenharia naval. O metal, até aí material nunca usado na construção integral de embarcações, passou a ser recurso corrente na construção de navios. Este material, cujo peso volúmico é bastante superior ao da água, exigia engenho na forma da embarcação para que fosse possível anular o efeito nefasto do incremento de peso próprio da embarcação. Porém, os significativos aumentos de resistência e durabilidade que podiam ser alcançados através do recurso a este material tornaram-no bastante cativante.

A revolução trazida pela utilização do metal na construção naval alastrou-se ainda à arquitectura dos navios. Até essa altura, a preferência por materiais com melhores garantias de flutuabilidade limitava as possibilidades dos arquitectos alterarem as formas do navio e aumentarem a capacidade de transporte dos mesmos.

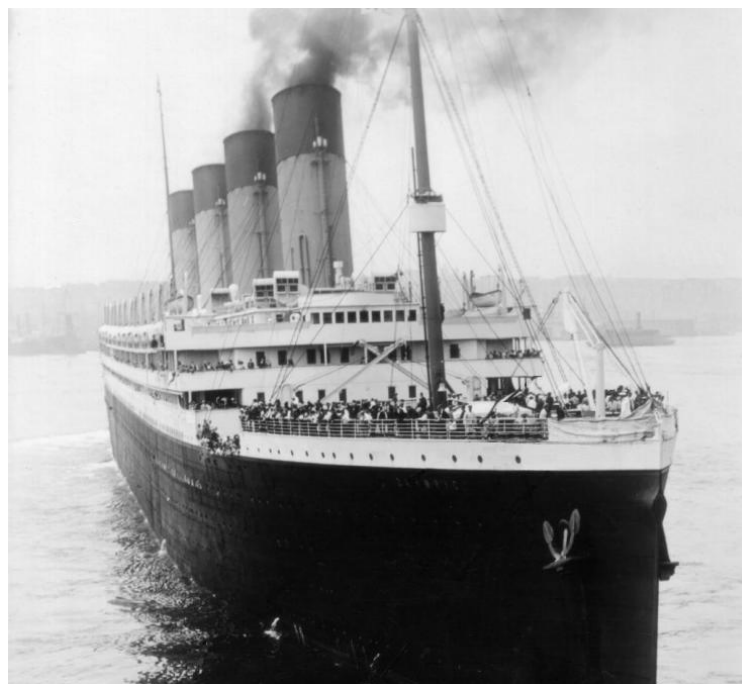


Fig. 2 - A utilização do metal revolucionou totalmente a construção naval – Fonte: White Star Ships

Com o surgimento de navios de maiores dimensões outras limitações surgiram. Não seria desejável ter embarcações que transportassem enormes quantidades de bens e pessoas e permanecesse em viagem períodos de tempo demasiado elevados. Era necessário melhorar as condições de propulsão dos navios para tornar efectiva a melhoria criada pelas novas capacidades dos navios.

Porém, apesar de ser uma preocupação antiga, só em pleno século XIX se consegue encontrar forma de aumentar a velocidade de tráfego. Em plena Revolução Industrial, começou por se adaptar ao navio o motor a vapor e posteriormente o motor de combustão.

Foi exactamente nesta fase que o transporte marítimo conheceu a sua mais intensa taxa de crescimento. Assistiu-se à generalização do uso do transporte marítimo principalmente quando se tratava de grandes volumes de materiais.

Na década de 60 do século XX surge uma das mais importantes invenções para o transporte marítimo. Quando Malcom McLean inventa o contentor está longe de esperar a revolução que na realidade introduziu nos transportes em geral.

Na realidade, o surgimento do contentor encontra-se relacionado com uma grande discussão que se espalhava pelos principais intervenientes no transporte marítimo: grande parte dos navios em circulação haveria de passar toda a sua vida a transportar o mesmo tipo de mercadoria. A economia havia criado rotas que exigiam movimento constante de matérias-primas e produtos acabados e muitos navios eram comprados com a certeza que toda a sua vida útil seria dedicada a um determinado percurso e ao transporte de uma determinada mercadoria.

Era por isso anti-eficiente utilizar navios semelhantes para transportar mercadorias tão diferentes. Seria lógico construir-se navios com características especiais adaptadas à sua função com evidentes efeitos positivos na qualidade de serviço e na eficiência.

E, de facto, para esta mudança muito contribuiu a invenção do contentor. Este permitia a possibilidade de se transportarem consideráveis quantidades de produtos sobrepostos sem que se danificassem ou fossem desviados. Passou a ser possível transportar mercadorias diferentes de forma empilhada e movimentá-las com segurança e rapidez.

O contentor e a especialização dos navios marcaram profundamente a história dos transportes. A melhoria de eficiência e rentabilidade tornaram-se objectivos primeiros para as entidades que vivem directa e indirectamente relacionadas com este meio de transporte.

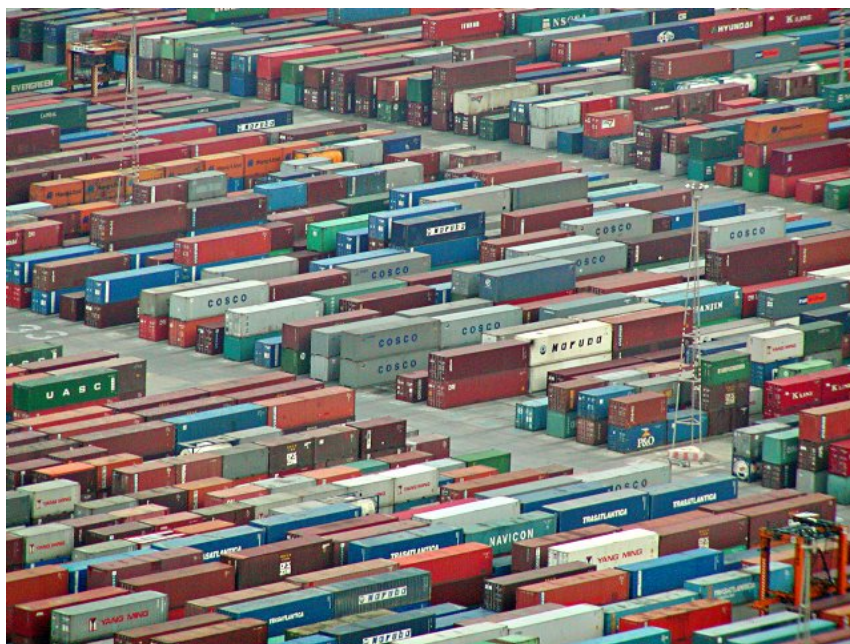


Fig. 3 – A invenção do contentor alterou profundamente a actividade portuária – Fonte: David Epstein

Actualmente, o ritmo de desenvolvimento do transporte marítimo permanece muito elevado, muito por culpa da exigência de constantes melhorias imposta pelas principais rotas comerciais mundiais, principalmente sobre este meio de transporte. Como resposta, têm surgido planos para o aumento da capacidade de transporte dos navios considerando-se a melhor forma de reduzir o custo e aumentar o

rendimento. Ainda assim, o aumento das dimensões dos navios também acarreta consigo alguns inconvenientes:

- Algumas rotas atravessam canais (naturais e artificiais) – o que coloca os responsáveis perante a difícil decisão de gastar dinheiro no aumento de capacidade desses canais ou correr o risco de perder competitividade;
- Os portos terão que adaptar as suas estruturas e instalações – o que nem sempre é possível dadas as limitações económicas e espaciais de alguns portos;
- Eleva-se o volume de perdas em caso de naufrágio – o que poderá fazer disparar o custo relacionada com seguradoras;
- Risco de repetição de progressos semelhantes – o crescimento desmesurado das dimensões dos navios petroleiros só parou com os enormes desastres ambientais;
- Aumenta o perigo de pirataria – o que poderá criar a necessidade de patrulhamento nas principais rotas.

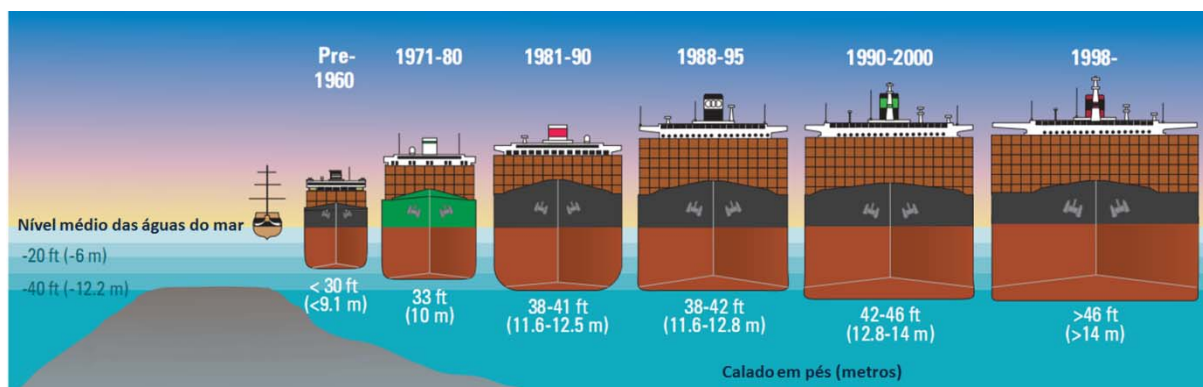


Fig. 4 – Evolução das características geométricas dos navios porta-contentores – Fonte: U.S.G.S.

O primeiro dos inconvenientes apresentados é, aliás, uma das principais fontes de limitações das dimensões dos navios. De facto, as principais rotas mundiais marítimas unem continentes e atravessam oceanos para o transporte de enormes volumes de mercadorias proporcionando uma maior rentabilidade. Contudo, o contorno dos continentes facilmente se assumiu como um meio anti-económico de atravessar de um oceano para outro e, com base nesse inconveniente, foram realizadas grandes obras de engenharia em jeito de atalho por terra.

A mais famosa dessas obras é o Canal do Panamá. Inaugurado a 10 de Outubro de 1913, após vários projectos falhados, o canal une o Oceano Pacífico e o Oceano Atlântico em pleno território do Panamá (país da América Central entre a Costa Rica e a Colômbia - de quem se separou em 1821 por influência de Roosevelt que desejava aí construir um canal contra a vontade do Senado Colombiano). A sua fama deve-se não só ao seu trânsito intenso (por lá passam actualmente cerca de 14700 navios por ano), proporcionado essencialmente pela principal rota comercial que une o continente asiático à Costa Leste dos Estados Unidos, mas sobretudo à capacidade das suas eclusas (deram origem à designação Panamax – dimensões máximas de um navio que poderá atravessar o Canal do Panamá).

Hoje em dia, apesar da mais-valia introduzida pela construção do canal (reduziu significativamente o percurso das rotas que precisam transitar entre Oceano Atlântico e o Oceano Pacífico), há já quem defenda ser mais vantajoso utilizar outras rotas mais longas mas também menos limitadoras uma vez que os Panamax começam já a cair em desuso em detrimento de navios maiores.

Dados apresentados pelos principais estaleiros mundiais, mostram que os novos super-navios proporcionam uma redução significativa do preço por cada dwt transportado, tornando competitivas algumas rotas mais longas que não se encontrem limitadas às dimensões do canal.

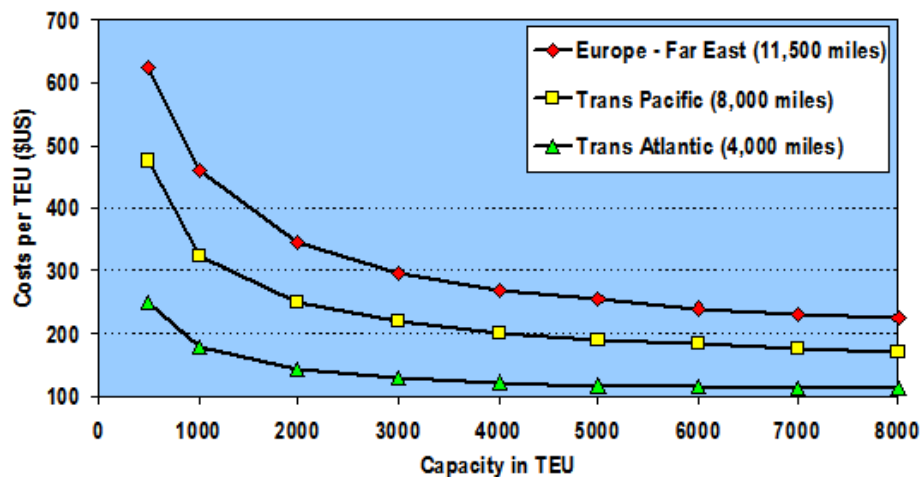


Fig. 5 - Custo por TEU transportado em função da capacidade do navio - Fonte: Cullinane, K. and M. Khanna

Pressionada por tais dados, a Autoridade do Canal do Panamá decidiu, em 2006, levar a cabo um projecto de aumento da capacidade das suas eclusas. Este projecto, com fim previsto para 2014, permitirá receber navios com capacidade superior ao dobro da actual.

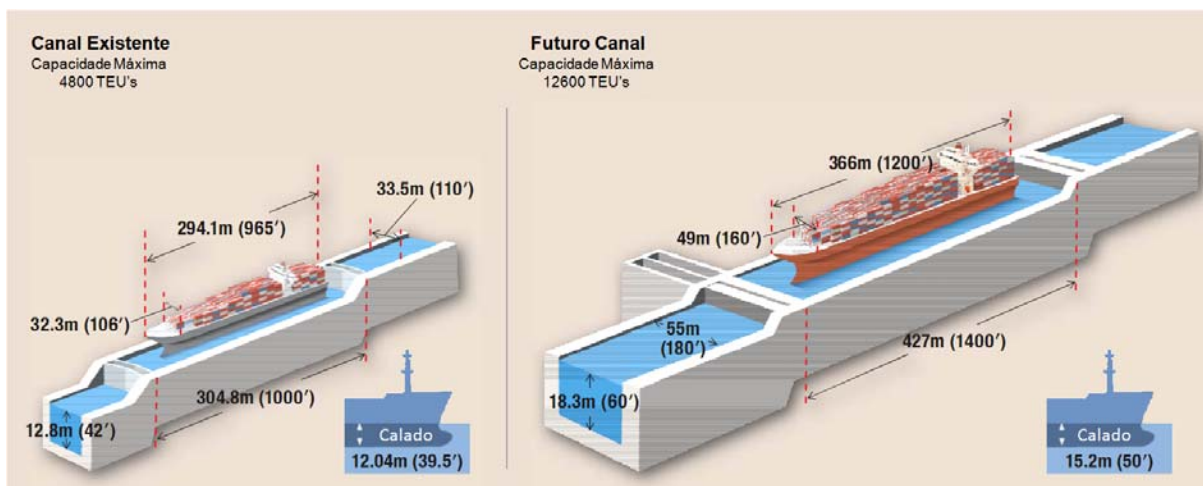


Fig. 6 - O novo Canal do Panamá permitirá um aumento significativo das dimensões dos navios que o atravessam – Fonte: Eric Kulisch and Chris Dupin (2008)

A consideração das condições de navegabilidade dos canais como elemento limitativo do aumento das dimensões dos navios pressupõe fazer o mesmo em relação às condições que os portos de origem e destino das mercadorias apresentam. Sabe-se que poucos portos a nível mundial dispõem de condições naturais óptimas para receber navios de grande volumetria. Os restantes terão necessariamente que

criar essas condições de forma artificial o que envolve, por vezes, grandes investimentos. Este tema será abordado no ponto seguinte deste trabalho.

Ao nível extra-estrutural, encontra-se uma limitação de análise complexa, o risco. A circulação de navios atrai dois riscos específicos: a pirataria e os naufrágios.

Apesar de não ser expectável o aumento de risco de naufrágio dos navios, as seguradoras poderão recusar-se a contratar seguros com os armadores por serem obrigadas a pagar indemnizações mais dispendiosas em caso de acidente. Caso exista alguma que o faça, exigirão elevados prémios aos segurados colocando em causa as vantagens económicas do recurso a este tipo de navios.

Por outro lado, a actualidade tem mostrado que o transporte de mercadorias por meio marítimo está exposto à insegurança. Grupos rebeldes armados têm encarado os sequestros de navios como uma forma de se financiarem através da imposição de elevados pedidos de resgate e são inúmeras as notícias que dão conta da intensa actividade da pirataria ao longo de algumas rotas comerciais. Perspectiva-se que o aumento do volume de carga transportado produza semelhante evolução do valor do pedido de resgate e constitua um chamariz para que outros decidam fazer o mesmo.

Ainda assim, os principais estaleiros navais apresentam constantemente novos projectos de navios que se destacam pelas suas dimensões extravagantes. O panorama do passado recente foi impressionante e perspectiva-se um futuro com a mesma toada que poderá ser invertida caso se recorde o semelhante progresso ocorrido nas dimensões dos navios petroleiros. O crescimento das dimensões desses navios só parou com os grandes desastres ambientais como é exemplo o desastre da Galiza. Perante o aumento do risco de grandes desastres espera-se que os principais armadores mundiais questionem a necessidade de continuar a aumentar as dimensões dos navios.

Surge então a dúvida sobre a representatividade destes novos super-navios no futuro ao ponto de justificar-se que a grande maioria dos portos se preparem para recebê-los. Como resposta, a Ocean Shipping Consultants apresentou uma estatística na qual prevê que os navios porta-contentores com capacidade superior a 8000 TEU's atingirá uma cota de mercado superior a 50% em 2030.

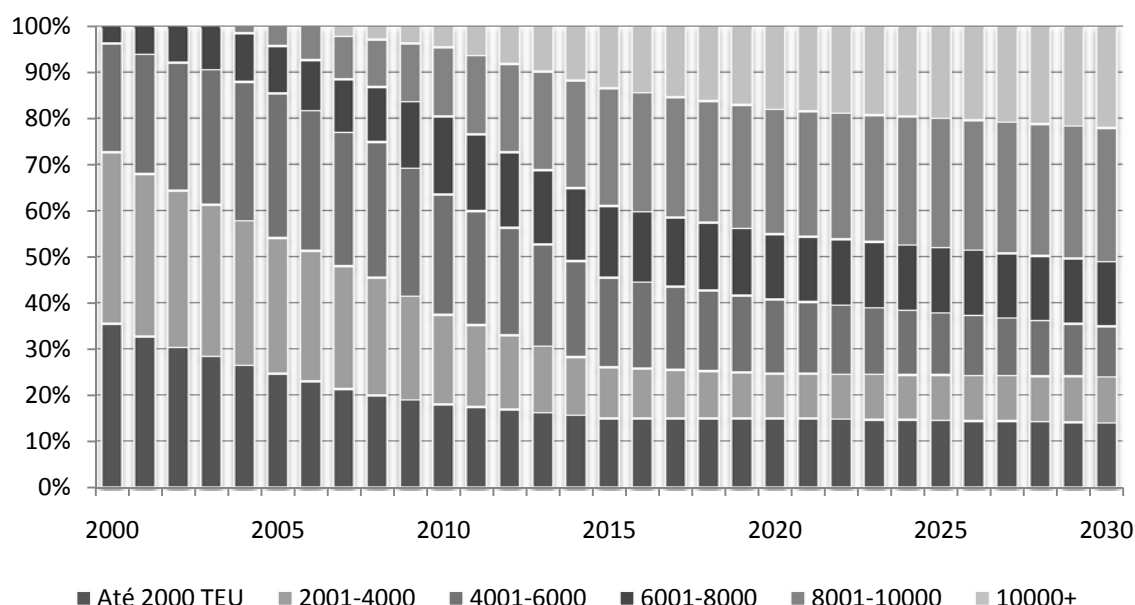


Fig. 7 - Perspectiva da percentagem dos novos porta-contentores - Fonte: Ocean Shipping Consultants

Pelos inconvenientes apresentados, espera-se que no futuro ocorra uma inflexão nas orientações actuais dos estaleiros. O crescimento desmesurado da capacidade dos navios acarretará um aumento exponencial do custo que lhe está directa e indirectamente associado (aumento de capacidade das infra-estruturas de acostagem, navegação e movimento de mercadorias; segurança, risco), que por sua vez anulará grande parte do benefício.

O gráfico seguinte apresenta, de forma esquemática, a relação prevista entre o aumento da capacidade dos navios e o custo por tonelada de mercadoria transportada:

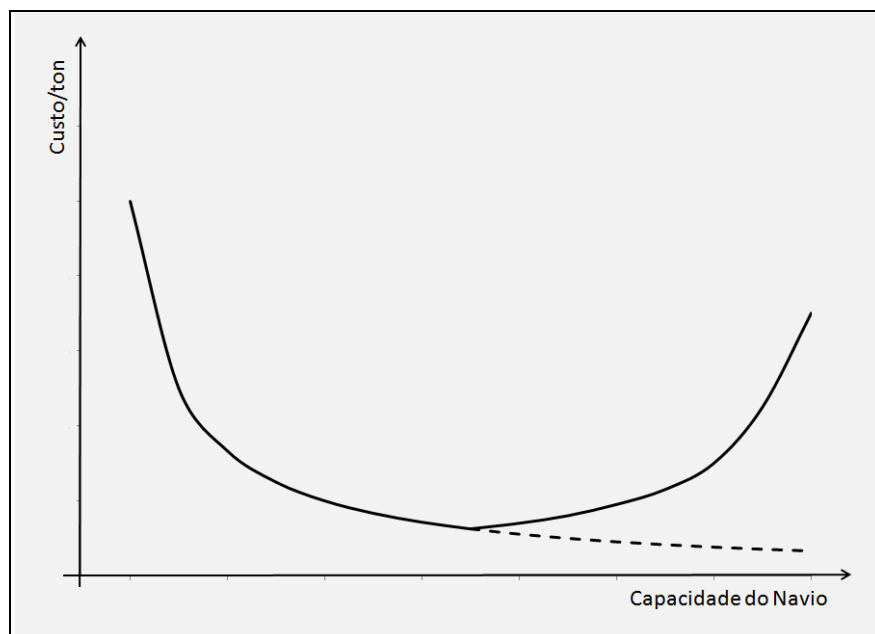


Fig. 8 - Previsão do custo por tonelada com o aumento infinito da capacidade dos navios

O traço interrompido ilustra-se a previsão do preço de transporte por tonelada em função da capacidade do navio se for ignorada a questão dos investimentos necessários em infra-estruturas de recepção incluindo a logística em terra e os referidos aspectos ambientais e de segurança (derrame, explosões, relação com envolventes urbanas e paisagísticas etc.). O aumento desmesurado da capacidade do navio reduzirá para valores muito pequenos o custo por tonelada de mercadoria transportada. Considerando os outros factores essa curva hipotética deixará de ser decrescente havendo uma capacidade “otimizada” dependente das condições específicas do transporte em questão. Uma capacidade superior a essa “ótima” introduzirá necessariamente os custos referidos provocando-se um aumento do custo por tonelada transportada.

2.1.2. CRESCENTE IMPORTÂNCIA DOS TRANSPORTES MARÍTIMOS NA VIDA SOCIOECONÓMICA DOS PAÍSES

Assegurar rapidez, eficiência e baixo custo no transporte de pessoas e mercadorias é fundamental para promover o dinamismo e desenvolvimento da economia mundial.

A crescente globalização da economia em conjunto com a reorganização e realocação dos sistemas produtivos tem provocado não só um aumento de procura de serviços integrados de logística e transporte, como também um aumento da exigência sobre esse sector para que ocorram melhorias nos

prazos envio/recepção e no custo associado. As grandes empresas de transporte fundiram-se e deram origem a grandes estruturas organizativas que são responsáveis por todas as fases da movimentação de mercadorias. Os portos deixaram de ser apenas locais de partida e chegada para ser pontos de passagem de mercadorias movimentadas através dos sistemas de logística instalados.

Um cliente de um serviço de logística pretende que este seja o melhor em várias áreas: simplicidade, qualidade, preço e tempo. Consoante as características do produto, a distância e a existência de condições especiais, ao cliente compete a procura do transporte (ou sistema intermodal de transportes) que lhe proporcione obter o melhor conjunto das áreas expostas, como mostra, de resto, a figura seguinte:

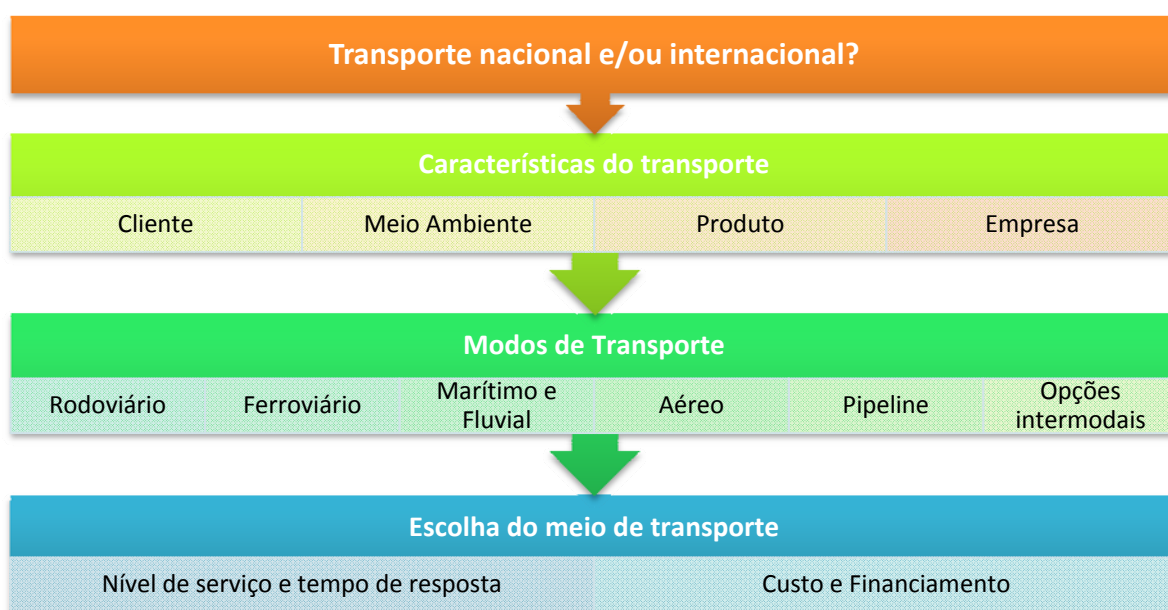


Fig. 9 - A escolha de um meio de transporte – Fonte: J.M. Crespo de Carvalho (2002)

A escolha do transporte marítimo tem recaído essencialmente para produtos com muito baixo custo por tonelada e para situações de grande distância. Sendo um meio com grande capacidade de carga, torna-se particularmente competitivo para rotas de longa distância, produtos com poucas exigências de prazos e produtos de grande volume e/ou peso. Por outro lado, a baixa velocidade e pouca flexibilidade impedem-no de ser opção para uma considerável variedade de mercadorias (J.M. Crespo de Carvalho, 2002).

Em 2007, o transporte internacional de mercadorias em Portugal organizava-se da seguinte forma:

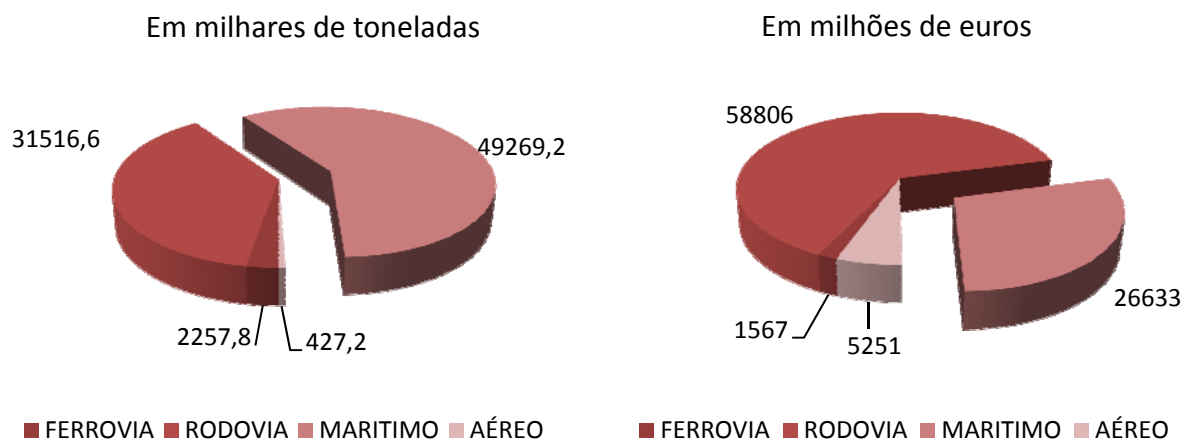


Fig. 10 - A quota de mercado dos transportes internacionais de Portugal – Fonte: INE

Os gráficos apresentados, indicam que o recurso ao meio de transporte marítimo tem sido sobretudo usado para mercadorias de volumes e pesos elevados mas de valor unitário relativamente reduzido.

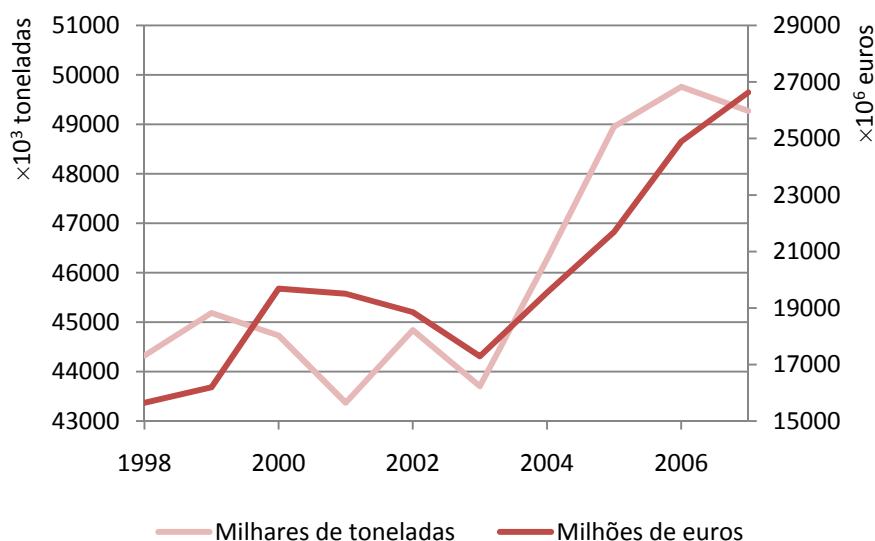


Fig. 11 - Evolução do volume de mercadorias internacionais em Portugal transportadas pelo meio marítimo – Fonte: IPTM

O gráfico anterior mostra a evolução do volume de mercadorias transitado internacionalmente através dos portos nacionais assim como do valor monetário que elas representam. A partir dele constata-se a existência de um crescimento generalizado, não só do volume de mercadorias como do valor que lhe está associado, com especial destaque para os últimos 4 anos.

Na década representada, o volume de mercadorias sofreu um aumento de cerca de 11% enquanto o valor dos produtos transportados sofreu um aumento que superou os 70%.

Com base nestes dados, pode concluir-se de forma directa que o transporte marítimo se tem tornado um meio mais competitivo, tendo alargado o leque dos produtos para os quais é rentável beneficiando do aumento da sua eficiência.

Ao contrário dos meios ferroviário e rodoviário, o meio marítimo tem assistido a um aumento do valor médio por tonelada das mercadorias que transporta. Ainda assim, é notório que a sua utilização é sobretudo indicada para produtos de valor reduzido e grandes volumes.

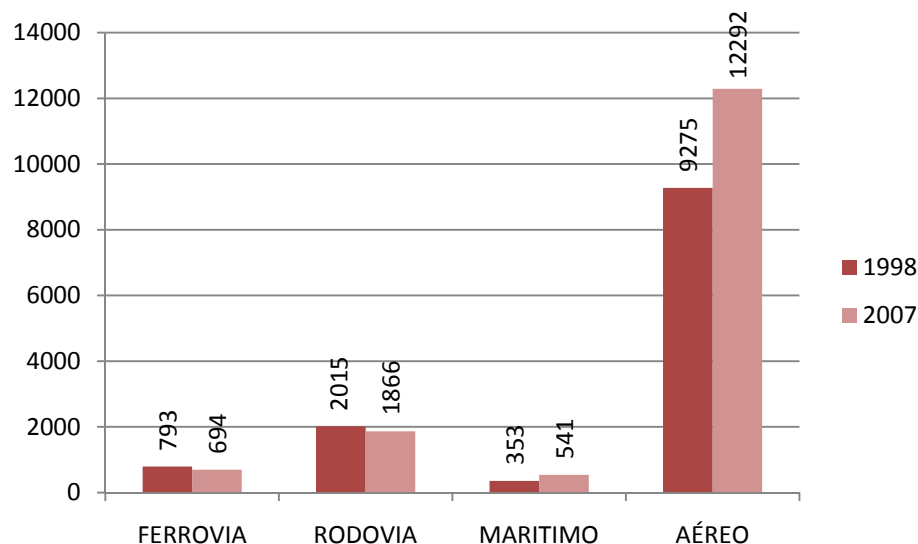


Fig. 12 - Preço em euros por cada tonelada transportada em Portugal por meio de transporte utilizado – Fonte: INE

A melhoria das suas condições de competitividade permitirá a este meio consolidar a sua posição preferencial para o transporte de mercadorias pesadas, volumosas e baratas; e ainda competir com outros meios por outras rotas até aí desfavoráveis, marcando de forma ainda mais vincada o seu impacto na sociedade e economia mundiais:

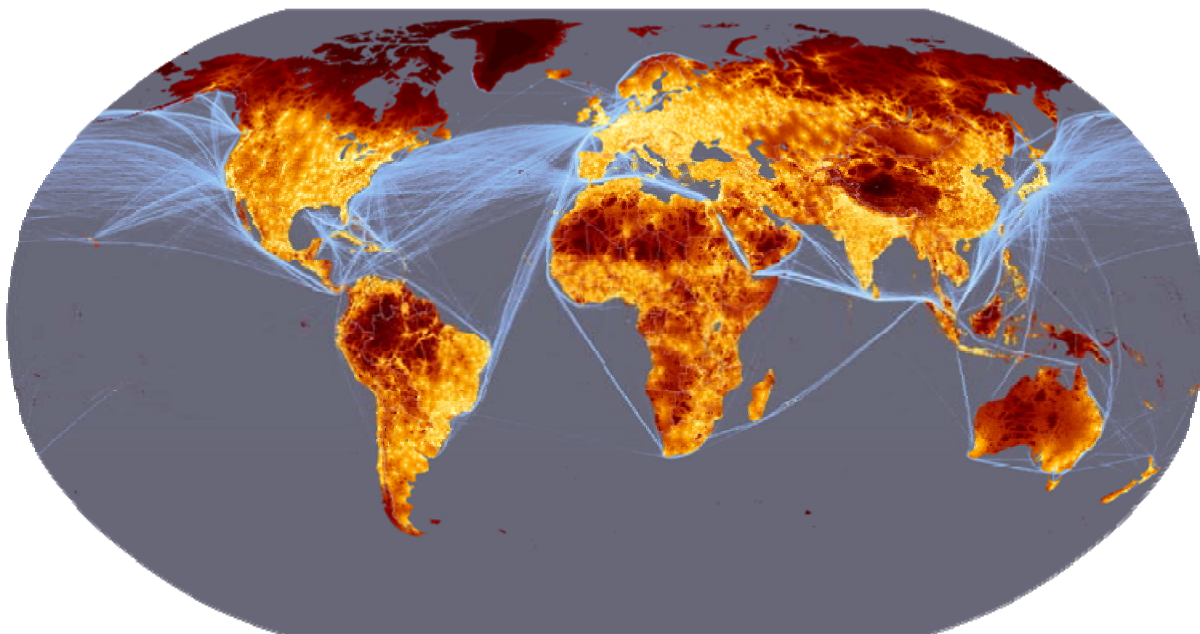


Fig. 13 - O impacto das principais rotas marítimas – Fonte: Landscape Architeck

Esta evolução favorável do transporte marítimo serve de incentivo a frequentes análises e estudos visando otimizar ainda mais os sistemas, garantindo a consolidação dos seus pontos fortes e ultrapassando as suas fragilidades. Só assim se conseguirá obter um meio de transporte sustentável nas suas vertentes mais importantes: económica, social e ambiental.

Dessa forma os transportes procuram reduzir o custo e o prazo visando prestar um serviço de maior qualidade e possibilitar o transporte de uma maior variedade de produtos.

2.2. POSSIBILIDADES PARA AUMENTO DE CAPACIDADE DE UM PORTO

Tendo por base os pontos anteriores, constata-se que a evolução da importância do transporte marítimo tem sido extremamente favorável. Para tal fenómeno muito contribuiu, como se expôs, a constante evolução tecnológica que caracteriza a engenharia naval.

Demonstrada que está a necessidade de dotar os portos de melhores condições para a recepção desses navios mais evoluídos, contribuindo igualmente para o aumento de fiabilidade e competitividade deste meio de transporte, importa distinguir as várias possibilidades que existem para provocar tal efeito:

- Ampliar a área de implantação do porto;
- Aumentar a capacidade dos equipamentos;
- Melhorar as infra-estruturas do porto;
- Melhorar os acessos ao porto;
- Criar condições para a instalação de cadeias logísticas;
- Investir em novas tecnologias e na qualificação de mão-de-obra.

A escolha da orientação (ou orientações) entre as que foram apresentadas dependerá sempre das condições que os portos e respectivas autoridades tiverem. Um porto terá necessariamente que fundamentar decisões que toma para a sua evolução nas características do mercado no qual se encontra inserido:

- Saúde económica do porto, da região e do país;
- Condições naturais;
- Localização e relação com exterior;
- Perspectivas futuras.

Saliente-se que, por vezes, as opções apresentadas não permitem atingir os objectivos pretendidos. Sendo, na sua maioria, estruturas com largos anos de existência, os portos encontram-se muitas vezes encaixados em povoações cuja história se mistura com a deles próprios. Esta relação intrínseca impede, por vezes, que o crescimento do porto seja harmonioso levando a que se tomem decisões de construção de novos portos. Tal decisão não é do foro deste trabalho pelo que não será abordada.

2.2.1. AMPLIAÇÃO DE PORTOS

A falta de espaço tem sido um dos principais obstáculos ao desenvolvimento de alguns portos, particularmente dos mais antigos. Muitos deles não haviam considerado a possibilidade de atingir tamanha importância no contexto sócio-económico e encontram-se actualmente sobrelotados. Da mesma forma, alguns portos mais recentes não foram projectados para a capacidade que neste momento estão obrigados a fornecer pelo mercado.

Nesta fase de pressão provocada pela economia sobre o desenvolvimento dos portos, estas limitações têm sido culmatadas sobretudo através da ampliação da área do porto, podendo esta ser executada em três formas: avanço em terra; avanço sobre o plano de água; solução mista (ambos os avanços).

Enquanto ponto de intensa actividade mercantil e económica, os portos fomentam a instalação de indústrias e serviços nas proximidades dos seus limites causando restrições à ampliação do porto para lá das suas fronteiras terrestres.

Impedidos de alargar o seu perímetro terrestre, alguns portos têm encarado como a melhor possibilidade o avanço em direcção ao plano de água permitindo não só aumentar a área do porto como também alcançar profundidades maiores possibilitando-se dessa forma a recepção de navios de maior calado.

Esta solução torna-se, porém, passível de ser reprovada pela população caso introduza grandes impactos na paisagem e no ambiente da região. As zonas próximas do mar são geralmente procuradas pela população e o turismo explora esse fenómeno. A introdução de grandes estruturas no horizonte poderão prejudicar a imagem da zona e provocar elevados prejuízos para a economia da região.

Um exemplo de portos que sentiram necessidade de aumentar a sua área à custa de incursão no plano de água é o Porto de Roterdão. Este porto tem, actualmente, um importante plano de modernização que prevê o aumento de terraplenos e construção de novas estruturas de defesa costeiras. O plano, de seu nome Maasvlakte 2, será construído por fases e desenvolve-se por uma área superior a 2000 hectares e terá fundos a -20m.



Fig. 14 - O Porto de Roterdão tem em prática um plano de ampliação (Maasvlakte) – Fonte: Port of Rotterdam Authority

Apesar da sua dimensão titânica, este porto encontrou nos seus limites terrestres uma limitação ao seu desenvolvimento e ao seu objectivo de manter a posição cimeira no transporte de mercadorias a nível europeu.

Aliando-se as necessidades de aumento de área de implantação e de profundidades de cais acostáveis, o porto encontrou no avanço a solução mais viável para o aumento da sua capacidade.

De referir que uma das principais limitações desta opção para aumento da capacidade dos portos, a falta de material de aterro, foi neste caso colmatada com material das dragagens. Este tipo de material nem sempre apresenta propriedades razoáveis pelo que obrigou a cuidados especiais.

Outro plano que está actualmente em desenvolvimento é a ampliação do Porto de Ferrol, Corunha, Espanha.

Este porto, que se via igualmente limitado pelo aglomerado que entretanto se formou sobre as suas fronteiras, optou por construir uma nova área portuária através do desmonte de rocha nas proximidades e com aproveitamento do material resultante desse desmonte para servir de base ao novo terrapleno.

Parte da actividade deste porto foi deslocada para esta nova estrutura do Porto de Ferrol situada numa zona de perfil de fundação extremamente inclinado conferindo-lhe condições óptimas à recepção de navios de grandes dimensões.

Neste caso as limitações físicas terrestres foram contrapostas com a deslocalização de parte do porto para uma zona livre e passível de ampliação futura.



Fig. 15 - O Porto de Ferrol (Espanha) encontra-se em fase de ampliação – Fonte: Autoridad Portuaria de Ferrol

Na figura apresenta-se um momento da construção da nova área do Porto de Ferrol podendo observar-se uma das características que torna a obra economicamente viável: o desmonte de uma considerável área de relevo acentuado reduz o custo de material necessário para a materialização do terraplino.

No mesmo país, Espanha, encontra-se igualmente em projecto a ampliação do Porto de Barcelona. Neste caso, poder-se-á afirmar que se trata de uma solução mista uma vez que tem como ideia principal o avanço em direcção ao mar mas também o aproveitamento de alguma área disponível nas vizinhanças dos seus limites iniciais.

Este mega-projecto, que beneficia das condições de agitação e marés do local, contempla a construção de novas estruturas que terão, essencialmente, função de aumentar os terraplenos. Será, claramente, um avanço das estruturas de acostagem para o meio aquático, conseguindo-se dessa forma profundidades superiores sem que, ao contrário dos outros projectos apresentados, se prejudique demasiado as condições de estabilidade e segurança do porto.



Fig. 16 - Ampliação do Porto de Barcelona – Fonte: Autoritat Portuària de Barcelona

2.2.2. INVESTIMENTO EM EQUIPAMENTOS COM MAIOR CAPACIDADE

Se por um lado existem portos cujas instalações limitam o seu funcionamento, outros não dispõem dos meios apropriados para rentabilizar as instalações que dispõem.

Com base nessa constatação, alguns portos optam por investir substancialmente na melhoria dos equipamentos que dispõem tendo em vista o aumento da capacidade dos mesmos e, consequentemente, do porto.

Esta opção baseia-se nas vantagens, para o porto e seus utilizadores, que estão associadas a uma maior velocidade de movimento dos materiais e de carga/descarga. Servindo de exemplo a movimentação de contentores, apresentam-se alguns equipamentos que permitem a redução significativa do tempo que lhe está associado:



Fig. 17 - Equipamentos que permitem flexibilidade no manejo de contentores – Várias Fontes



Fig. 18 - Equipamentos que permitem a descarga mais célere dos navios – Várias Fontes

Cada vez mais os portos são essencialmente locais de carga/descarga de mercadorias e embarque/desembarque de passageiros. Os antigos portos, que se caracterizavam por elevados tempos de armazenamento de mercadorias, transformaram-se em locais de passagem. Portos mais rápidos e eficientes transmitem vantagens às autoridades portuárias e aos clientes.

Seguindo a velha máxima de que “tempo é dinheiro”, os clientes exigem do porto cada vez maior rapidez nos processos de estiva e movimentação de cargas. Novos equipamentos de velocidade e rendimento superiores proporcionam ao porto argumentos importantes na cativação de novos clientes e fidelização dos já existentes.

Directamente para o porto, a velocidade de processos permite reduzir o tempo de permanência dos navios possibilitando receber-se um maior número de navios anualmente.

2.2.3. MELHORIA DAS INFRA-ESTRUTURAS DO PORTO

De entre as várias possibilidades expostas, as autoridades portuárias têm preferido direccionar os seus investimentos para a construção de novas infra-estruturas ou melhoramento das já existentes.

O aumento significativo das dimensões dos navios – cuja análise já foi feita no ponto 2.1.1 deste trabalho – tem tornado necessário prever obras que permitam aos portos receber esses novos navios. Para tal, os portos deverão levar a cabo estudos que visem avaliar a opção que, técnica e economicamente, mais beneficie o porto: construindo novos cais ou reabilitando os existentes.

A reabilitação de cais existentes é exactamente o âmbito deste trabalho pelo que será analisado com mais detalhe em próximos tópicos deste trabalho.

A construção de novos cais estará, de certa forma, relacionada com a ampliação dos portos, opção apresentada no ponto 2.2.1.

Porém, existem outras formas de aumentar a capacidade de um porto, melhorando as suas infra-estruturas, sem que se as altere profundamente. É o caso das obras que visam essencialmente dotar o porto de condições para receber cargas de outra forma.

Um dos exemplos é a contentorização. Alterar um cais e um terrapleno e dotá-lo da capacidade para receber contentores deverá significar um claro benefício para capacidade do porto.

Da mesma forma, a construção de rampas Roll-On/Roll-Off permite que sejam recepcionados navios que se caracterizam pela capacidade de executarem ciclos de carga e descarga com tremenda rapidez:



Fig. 19 - Rampa Roll-On/Roll-Off

Ainda que não introduza um claro aumento de capacidade do porto, a dotação de novas capacidades permite a este tornar-se mais competitivo.

Outra das opções para aumento de capacidade através da construção/reabilitação das estruturas existentes tem recaído no aumento da área de terraplenos, quer seja conseguido por aumento das dimensões do porto por avanço para o mar, quer seja por avanço para fora dos limites em terra do porto, quer seja até por alteração da configuração do porto (mobilizando, por exemplo, instalações que não demonstram necessidade de proximidade dos cais).

2.2.4. MELHORIA DOS ACESSOS DE/PARA O PORTO

Como foi dito anteriormente, os portos representam na actualidade muito mais que um simples terminal de carga e descarga de bens e pessoas, passando a fazer parte de uma rede mais complexa de transportes. E quanto mais vantagens oferecer essa rede maior será a sua procura e, consequentemente, maiores rendimentos trará para os seus intervenientes.

É, por este motivo, indispensável que os portos tenham a preocupação de prever no seu futuro condições que permitam simplificar a interacção entre o transporte marítimo e os restantes transportes.

É precisamente nesse sentido que alguns portos têm canalizado os seus investimentos através da melhoria das condições de acessos dos vários meios de transporte que com eles podem interagir.

É disso exemplo a construção de terminais ferroviários como o caso do Porto de Göteborg, Suécia. Este que é o principal porto do sudoeste sueco, funciona como uma plataforma de recepção e despacho de mercadorias directamente ligada à estrutura de distribuição no seu hinterland. Isto torna o processo simples e rápido, características indispensáveis para um sistema logístico competitivo.



Fig. 20 - O Porto de Göteborg conta já com um terminal ferroviário – Fonte: West Sweden Seaports

Ainda na área das acessibilidades, os portos têm igualmente investido na eficácia da interacção com o meio rodoviário. Em certos portos, como é o caso de Leixões, verifica-se que no passado recente se acumula o volume de tráfego nos seus limites terrestres. Tal facto deve-se não só ao aumento geral do número de veículos que circulam diariamente nas estradas mundiais mas também ao crescente volume de mercadorias que por elas circulam, fruto das novas orientações económicas mundiais – vive-se actualmente um mercado global no qual os transportes representam um papel fundamental.

A solução seguida pelos portos, como foi o caso do Porto de Leixões, é a de criar vias de ligação dedicadas ao porto:



Fig. 21 - A construção da VILPL alterou claramente a eficácia da ligação entre o porto e a rede de estradas – Fonte: APDL

2.2.5. INVESTIMENTO EM QUALIFICAÇÃO DA MÃO-DE-OBRA E NOVAS TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO

A forma mais recente de modernização dos sistemas portuários tem-se baseado nas novas tecnologias e na qualificação da mão-de-obra.

Da história reconhece-se o fracasso de vários projectos por culpa da falta de capacidade e conhecimento dos responsáveis pela sua materialização no terreno. À pouca formação dos intervenientes do projecto associou-se imediatamente a responsabilidade pelo insucesso e, por isso mesmo, começou a haver uma forte aposta na formação profissional.

A nível empresarial, verificou-se um claro aumento de benefícios:

- Reforço da capacidade produtiva;
- Modernização da produção (com recurso a novas tecnologias);
- Diversificação e melhoria da qualidade dos produtos e serviços oferecidos.

Como reflexo dos resultados obtidos, as empresas alteraram gradualmente a forma como encaravam a qualificação profissional começando a apostar nessa área como forma de aumentar a sua eficiência e com perspectivas de aumento de benefícios.

Os portos, enquanto entidades produtivas de serviços, adaptaram-se igualmente a esta nova vertente da economia global e fazem questão, actualmente, de investir no ensino dos seus funcionários e até dos seus intervenientes externos.

É o caso da APDL, entidade formadora acreditada pela DGERT, que leva a cabo anualmente um plano de formação composto por um conjunto diversificado de temas: Área comportamental, organização de eventos, recursos humanos, responsabilidade social, gestão e finanças, área jurídica, informática, informação geográfica, compras, línguas e segurança (APDL, 2009)

A dotação de formação profissional tem-se feito reflectir não só nos benefícios do porto como também na motivação e bem-estar dos formandos favorecendo indirectamente o funcionamento da entidade empregadora.



Fig. 22 - A formação da APDL tem contribuído consideravelmente para a evolução do Porto de Leixões – Fonte: APDL

Por outro lado, vivendo numa era de acelerada evolução tecnológica, as novas tecnologias têm assumido um papel fundamental no auxílio à procura de melhoria das condições de fiabilidade, segurança e celeridade nos processos dos portos.

Os portos procuram adaptar-se aos meios mais avançados e modernos que proporcionem aumento de competitividade. Inicialmente fê-lo informatizando a grande maioria dos processos burocráticos e, actualmente, tem recorrido à automação dos processos de carga e descarga, principalmente dos contentores.

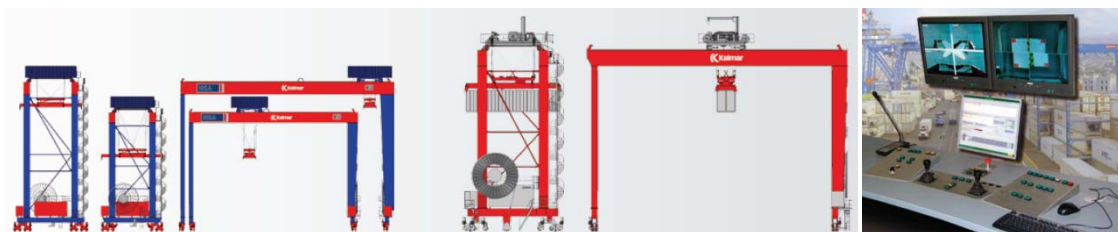


Fig. 23 - A Kalmar encontra-se em fase de comercialização de sistemas automáticos de manuseamento de contentores – Fonte: Kalmar

No domínio das novas tecnologias, pode afirmar-se que Portugal se encontra na linha da frente com os seus principais portos envolvidos em grandes projectos que visam exactamente implementar sistemas informáticos de gestão de documentos e informações:

- O Porto de Leixões conta actualmente com uma nova portaria na vanguarda da tecnologia, situada em plena VILPL;
- Os portos de Leixões, Sines e Lisboa criaram uma plataforma para a transferência electrónica de documentos e informação, o PCom – Plataforma Comum;
- A Associação de Portos de Portugal encontra-se a implementar o PIP'e – Procedimento e Informação Portuária Electrónica – que tem por objectivo harmonizar e simplificar todos os procedimentos de gestão portuária através da introdução da informatização de documentos que lhe estão associados;
- O Porto de Leixões, juntamente com o INESC, desenvolveram o SCOPe – Sistema de Comunidade Portuária Electrónica – que consistiu na concepção de um modelo de gestão dos processos de carga e descarga incluindo os vários actores da comunidade portuária.



Fig. 24 - A nova portaria torna mais rápida e simples a entrada e saída de viaturas pesadas de carga do Porto de Leixões – Fonte: APDL

2.2.6. INVESTIMENTO EM SEGURANÇA E AMBIENTE

Apesar de não representar um investimento com retorno económico directo, será de esperar que um porto tenha sempre elevados níveis de preocupação a nível ambiental e da segurança. Um porto com elevados índices de segurança e respeitador do meio ambiente que o rodeio ganha vantagem sobre portos que não demonstrem semelhantes preocupações e salvaguarda-se de sanções impostas pelas autoridades fiscalizadoras.

No domínio das questões ambientais, as principais preocupações têm-se debruçado sobretudo sobre análises de impacto ambiental e monitorização ambiental do porto com implementação de medidas que visem colmatar possíveis problemas:

- Analisar os dragados e a sua possível utilização para alimentação artificial de praias;
- Restringir a poluição atmosférica ao nível de poeiras e ruído;
- Optimizar a gestão de resíduos;
- Sensibilizar os outros intervenientes do porto para a adopção de cuidados e medidas ecológicas.

Exemplo deste pensamento ecológico pode encontrar-se no Porto de Leixões que se encontra a implementar o Programa de Gestão Ambiental orçado em 1,6 milhões de euros que inclui a aposta na monitorização da qualidade ambiental e a adopção de medidas que reduzam o impacto da actividade portuária.

A outro nível encontram-se portos situados em estuários de rios que se constituem como ecossistemas especiais onde se reconhecem especificidades nas questões ecológicas. É disso exemplo o Porto de Lisboa – situado em pleno Estuário do Tejo, um dos maiores e mais ricos ambientalmente da Europa – cujas preocupações são ainda maiores.

Ao nível da segurança, a preocupação dos portos tem sido, também, significativa. São comuns as revisões dos planos de segurança, as simulações e a implementação de novas medidas que garantam o bom funcionamento do porto sem que ocorram acidentes.

Essa atitude estende-se desde a melhoria das condições de circulação (em terra e no plano de água) até à dotação do porto de meios para situações de emergência como sistemas de incêndio e meios de socorro.

A título de exemplo, o Porto de Leixões considera urgente e crítico melhorar as condições de segurança do porto e para isso estuda e executa planos que visem tal propósito. A administração vai mais longe ao ponto de considerar que as boas condições de segurança serão factor de competitividade no futuro. As cadeias logísticas procuram portos que garantam fiabilidade, eficiência e não dispensam a segurança.

As soluções para o aumento de segurança no porto têm-se feito notar em todo o processo:

- CCN – Centro de coordenação de navios – planeamento e monitorização dos movimentos dos navios;
- CAP – Controle de actividade portuária – planeamento e monitorização de todas as operações de carga/descarga de navios e entrada/saída de mercadorias do porto;
- Central de segurança – monitorização do funcionamento geral do porto e revisão do plano de segurança para que sejam cumpridas as orientações do ISPS (International Ship and Port Facility Security).

O PORTO DE LEIXÕES

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO PORTO DE LEIXÕES

O Porto de Leixões, localizado no concelho de Matosinhos, tem um papel vital na saúde económica da região norte de Portugal e Galiza (Espanha). Sendo a maior estrutura portuária do norte do país, contando actualmente com 5km de cais, 55ha de terraplenos e 120ha de área molhada, Leixões conjuga a sua localização estratégica com boas acessibilidades marítimas e terrestres, o que lhe confere condições ideais para ser um importante centro de transacções internas e externas.

Segundo o sítio oficial da Administração de Portos de Douro e Leixões (APDL), as 15 milhões de toneladas de mercadorias movimentadas pelo Porto de Leixões representam 25% do Comércio Externo Português, cotando-se assim como um dos mais competitivos portos nacionais. Por este porto passam cerca de 3000 navios anualmente transportando os mais variados tipos de mercadorias, das quais se destacam: Têxteis; Granitos; Vinhos; Madeira; Automóveis; Cereais; Sucata; Ferro e Aço; Álcool; Aguardente; Açúcares; Óleos; Melaços; Produtos Petrolíferos e Passageiros em Navios de Cruzeiro. Esta enorme variedade de produtos movimentados obriga o Porto de Leixões a ser polivalente e torna delicados os actos de decisão inerentes aos vários planos de desenvolvimento que terão, necessariamente, de estudar a forma como cada uma das mercadorias será afectada com a implementação desse plano.

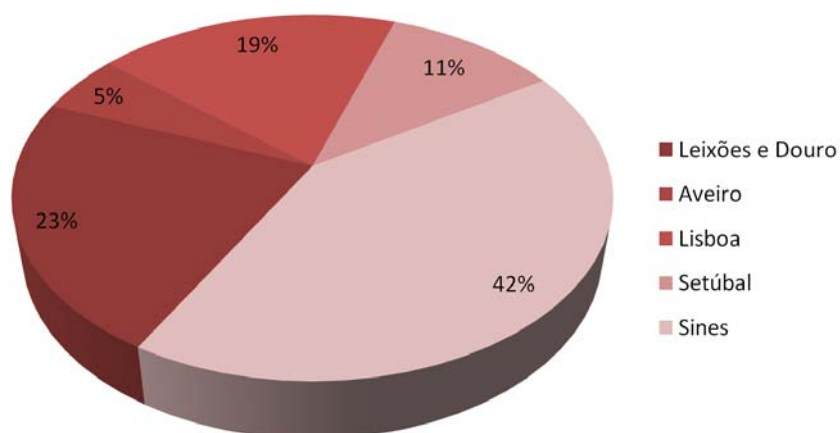


Fig. 25 - Relação da carga movimentada nos principais portos portugueses – Fonte: IPTM

Comparativamente com os restantes principais portos do nosso país, dados recolhidos junto do Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos posicionam o Porto de Leixões na segunda posição sendo responsável por cerca de 23% do total de mercadorias transaccionadas neste grupo de portos:

Do ponto de vista organizativo, praticamente todas as mercadorias são movimentadas por empresas concessionárias, que dispõem de modernos equipamentos de estiva e movimentação de cargas. À autoridade marítima, por sua vez, cabe a responsabilidade de assegurar os serviços de pilotagem, reboque e amarração para os quais dispõe de meios e equipamentos adequados.

De referir ainda que se trata de um porto com condições de operacionalidade 365 dias por ano com altos índices de produtividade e com barra permanentemente aberta ao tráfego sem que as marés restrinjam o acesso dos navios. O porto caracteriza-se ainda por uma elevada eficiência, reflectida num curto tempo de permanência dos navios nos vários cais. Isto permite não só ao porto receber um maior número de navios no mesmo intervalo temporal, como aos clientes reduzir o tempo de permanência do barco no porto e os custos totais de operação.

3.1.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSIBILIDADES

Leixões, lugar que deve o seu nome a um conjunto de rochedos existentes no mar, situa-se na zona ribeirinha de Leça da Palmeira, concelho de Matosinhos.

A sua inserção na Área Metropolitana do Porto, zona de intensa actividade económica comercial e industrial, aliada à existência de boas acessibilidades tornaram o porto indispensável para as trocas comerciais entre a sua área de influência e o exterior.

Actualmente o Porto de Leixões é servido por três vias distintas:

- Marítimas – Canal de Entrada do Porto com 220m de largura entre as cabeças dos molhes de abrigo; alarga no anteporto para 500m reduzindo-se de novo à entrada da doca nº1 para os 113m; na doca nº2, o canal tem uma largura de 58m.
- Rodoviárias – Conexão com os Itinerários Principais IP1 e IP4 e os Itinerários Complementares IC1, IC23 e IC24.
- Ferroviárias – Ligação à rede geral do país estabelecida através da Estação de Contumil.

O constante congestionamento, em especial do Itinerário Complementar nº1, conduziu à decisão de acrescentar ao Plano Estratégico de Desenvolvimento do Porto de Leixões, a construção de uma via privada do Porto de Leixões (Via Interna de Ligação do Porto de Leixões – VILPL) dedicada exclusivamente ao movimento de veículos de mercadorias que entrem ou saiam do porto, estando esta ligada a uma Via Regional Interior que se encarregará apenas de transmitir esses veículos às principais vias sem necessidade de percorrer o IC1.



Fig. 26 - Localização do Porto de Leixões – Fonte: APDL

3.1.2. CAIS E TERMINAIS

A área de influência do Porto de Leixões caracteriza-se, para além de uma imponente dimensão, pela grande variedade de actividades comerciais e industriais que nela se desenvolvem. Esta característica implica na mesma proporção, que o Porto de Leixões esteja preparado para transportar as matérias-primas e os produtos acabados dessas mesmas actividades, reflectindo-se num conjunto de cais e terminais polivalentes.

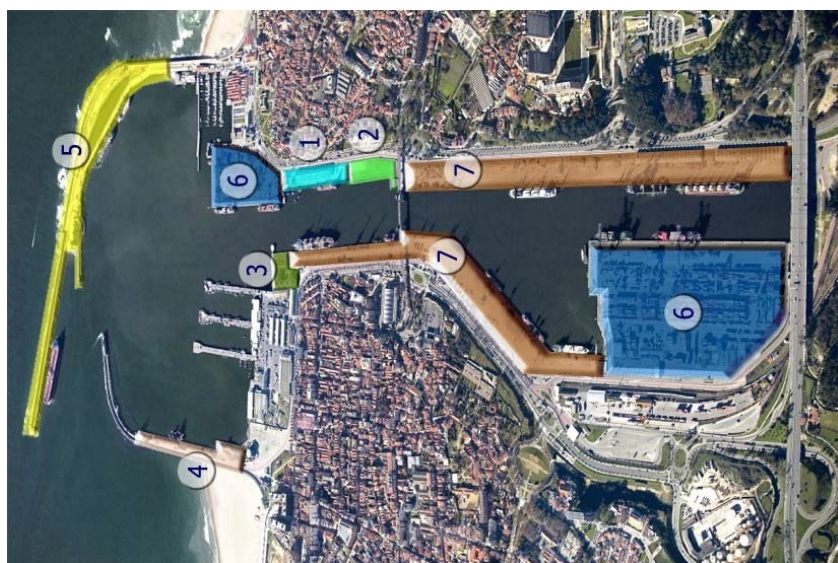
Para cumprir tal propósito o Porto de Leixões conta actualmente com:

- Cais de carga geral e granéis sólidos;
- Cais de granéis líquidos;
- Terminal de petroleiros;
- Terminal de contentores;
- Terminal Roll-On/Roll-Off;
- Estação de passageiros;
- Doca de recreio;
- Porto de Pesca.

Tabela 1 - Características dos terminais do Porto de Leixões – Fonte: APDL

Designação		Usos	Comprimento (m)	Fundos (m)	Armazenagem (m ²)	
					Coberta	Descoberta
Terminal de contentores norte		Movimento e armazenagem de contentores	360	-10	-	19700
Terminal de contentores sul			540	-12	-	13000
Terminal petrolífero	Posto A	Produtos petrolíferos e derivados	100 000 DWT	-14	-	-
	Posto B		27 000 DWT	-9	-	-
	Posto C		5 000 DWT	-5	-	-
Doca nº1 Sul		Carga geral, granéis sólidos e graneis líquidos	520	-10	-	16663
Doca nº2 Norte		Carga geral e graneis sólidos	670	-11	-	34693
Doca nº2 Sul		Carga geral, graneis sólidos e graneis líquidos	690	-11	-	53414
Doca nº4 Norte		Graneis sólidos	500	-12	3800	22448

Na tabela anterior as cotas dos fundos referem-se ao Zero Hidrográfico de Leixões.



- 1 – Terminal de passageiros
- 2 – Terminal Roll-On/Roll-Off
- 3 – Terminal de graneis
- 4 – Molhe sul
- 5 – Molhe norte e terminal petrolífero
- 6 – Terminal de contentores
- 7 – Terminal de carga geral e graneis

Fig. 27 – Vista aérea do Porto de Leixões – Fonte: APDL

3.1.3. EQUIPAMENTOS

Actualmente, a movimentação de mercadorias no Porto de Leixões encontra-se concessionada quase na totalidade das mercadorias. À autoridade portuária compete a responsabilidade de assegurar a prestação de serviços de pilotagem, reboque e amarração para os quais dispõe de vários meios e equipamentos.

No plano aquático, o Porto de Leixões dispõe de vários rebocadores e lanchas com diferentes características que se adaptam às necessidades específicas de cada cliente.

Porém, essas necessidades específicas fazem-se sentir com maior evidência nos equipamentos necessários nos cais e terraplenos. Novamente, a grande variedade de materiais que anualmente passam pelo porto obriga a um conjunto muito diverso de equipamentos:

- Guindastes para graneis sólidos;
- Pórticos para contentores;
- Sistemas de bombagem de graneis líquidos;
- Instalações para o armazenamento das mercadorias;
- Equipamentos para manipulação de mercadorias.

Como seria de esperar, esta é mais uma área de constante investimento no Porto de Leixões visando dispor dos melhores equipamentos que garantam fiabilidade e melhor rendimento para quem deles se servem.

3.2. EVOLUÇÃO DO PORTO DE LEIXÕES

3.2.1. HISTÓRIA DO PORTO DE LEIXÕES

A cidade do Porto sempre se caracterizou por ser o centro económico de uma vasta e populosa região que usava o Porto Fluvial do Douro para realizar as suas transacções marítimas.

Da história deste porto, recorda-se o perigo que era a entrada da sua barra, a existência de rochedos no seu estuário que provocaram inúmeros naufrágios, e as fortes marés e cheias que impediam a sua disponibilidade por largos períodos do ano. Para além disso, o Rio Douro transporta um grande volume de material sólido, o que obrigava a constantes desassoreamentos.



Fig. 28 - Cais da Alfândega (Porto Fluvial do Douro) – Fonte: Navios à Vista

A constante indisponibilidade do porto associada às péssimas condições de vento e agitação do mar desta zona do país tornou necessária a construção de um porto de abrigo nas proximidades.

A decisão sobre a localização deste porto recaiu na costa da freguesia de Leça da Palmeira (Matosinhos), mas rigorosamente na foz do Rio Leça. Esta localização apresentava-se como a melhor alternativa muito influenciada pelas óptimas condições naturais que apresentava: situava-se na foz de um pequeno rio (com relativamente pouco volume de sólidos transportado) e existia no local uma formações rochosas descrevendo um semi-circulo formando, assim, praticamente um porto natural. Essas formações rochosas acabaram por dar o nome a este novo porto de abrigo – Leixões.

Em 1883 o ministro das obras públicas Hintze Ribeiro dá início ao projecto para a construção do novo porto cujas obras arrancam no ano seguinte.



Fig. 29 - O Porto de Leixões em 1892 – Fonte: Biblioteca Nacional de Portugal

Em 1895, dá-se a entrega definitiva da obra: uma grande enseada de 95 hectares, definida pela construção de dois extensos molhes e um quebra-mar (no extremo do molhe norte), construídos essencialmente sobre os leixões naturais existentes, o que lhe confere uma resistência e segurança redobradas.

Em 1908 surge o Plano do Porto Comercial que, como o nome indica, tem por objectivo tornar o antigo porto de abrigo num moderno porto comercial, fazendo crescer o porto para o interior do Rio Leça.

Entre 1914 e 1923, dá-se a construção do primeiro cais acostável no porto, que fica situado no molhe sul. Com a extensão de 70m e uma profundidade de -7.2m, este cais era composto por blocos artificiais sobrepostos e o espaço entre estes e o quebra-mar do molhe sul foi preenchido por material arenoso.

Foi sem surpresa que surgiram desde logo planos para aumentar a extensão de cais acostáveis para o porto. Este cais não só não colmatava totalmente as necessidades da altura como também condicionava a evolução do porto. Por esse motivo, entre 1932 e 1940 desenrolaram-se obras para o aumento do plano de água e da extensão de cais acostáveis. Esta doca tem a forma de um quadrilátero com 500m de comprimento e 175 de largura e foi fundado, na altura, à cota -10m. Os muros-cais assentam em grande extensão na rocha natural sendo por isso de alvenaria e cantaria em granito. Nas restantes zonas (não assentes em rocha) optou-se pela construção de muros-cais em arcadas.

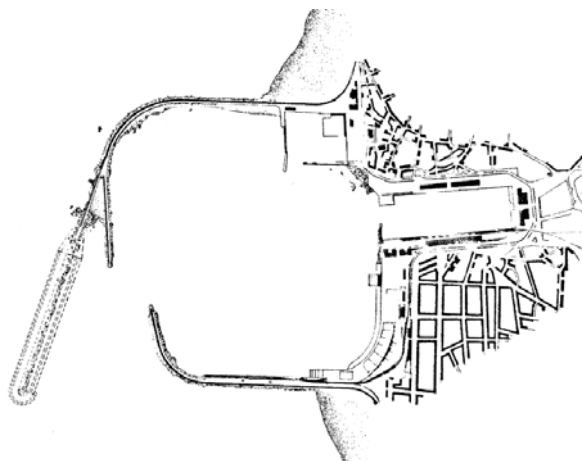


Fig. 30 - O Porto de Leixões em 1940 - Fonte: APDL

Apesar da melhoria significativa em comparação com o antigo Porto Fluvial do Douro, Leixões tinha ainda grandes dificuldades em sustentar as condições extremas do mar. O molhe norte sofria constantemente grandes vagas e grandes tempestades que colocavam em causa a sua estabilidade e segurança. Para colmatar, foi projectado e executado, entre 1932 e 1940, um quebra-mar submerso para essa zona.

Em 1955 é aprovado um novo plano para o porto. O constante desenvolvimento provocava um constante aumento de capacidade e surgiu o Plano de Ampliação do Porto Comercial.

Este plano marcou profundamente o desenvolvimento do porto. Foram várias as obras de aumento de capacidade que lhe ficaram associadas.

Entre 1957 e 1966 constrói-se uma nova doca (Nº 2) que acabaria por ficar completa apenas em 1975. Esta doca acrescentou mais de 1400m de cais acostáveis e praticamente duplicou a capacidade que existia.

No período de 1965 a 1970 criaram-se condições para novas valências do porto. A construção de pontes-cais nas proximidades do molhe sul e de estruturas de apoio permite que o porto passe também

a receber barcos de pesca. Por outro lado, decidiu-se sobrelevar o molhe norte e ao longo dele construir-se um terminal de petroleiros que teria a função de abastecer a refinaria de Leça.



Fig. 31 - O Porto de Leixões em 1977 - Fonte: APDL

O ano de 1984 assinala outra mudança importante na configuração do Porto de Leixões. Neste ano assinala-se o fim da construção da Doca Nº4, a doca mais interior do porto que acrescenta cerca de 1000m de cais acostáveis. Nesta zona as características do solo foram de tal forma heterogêneas que houve necessidade de prever-se configurações diferentes para os muros-cais. Assim sendo, nas zonas de afloramento de rocha recorreu-se a blocos pré-fabricados enquanto nas zonas de tecto rochoso profundo executou-se cais tipo “Dinamarquês” (muro-cais sobre estacas e uma cortina de estacas-prancha cravadas na rocha para contenção dos terrenos do tardoz).



Fig. 32 - O Porto de Leixões em 1987 - Fonte: APDL

Em 1996 é aprovado um novo instrumento estratégico para o futuro do porto – Plano Geral de Ordenamento e Desenvolvimento do Porto de Leixões. Este não contemplava obras de fundo para o aumento de capacidade do porto, mas sim obras de reabilitação e reforço de alguns cais existentes e

medidas que visassem a sua integração nas redes intereuropeias de transportes com reflexo na qualidade dos serviços prestados.

Desde essa altura, os cais acostáveis de Leixões têm recebido várias obras de reabilitação e reforço:

- 1995 a 1997 – Reabilitação de 300m de cais na Doca Nº2 Norte;
- 2000 a 2002 – Reabilitação de 110m do cais Sul e Nascente da Doca Nº 4;
- 2000 a 2003 – Reabilitação e reforço de parte do cais Sul da Doca nº1;
- 2005 a 2006 – Estabilização dos cais Sul e Poente da Doca Nº4;



Fig. 33 - O Porto de Leixões em 2004 - Fonte: APDL

Finalmente em 2003 foi aprovado o Plano Estratégico de Desenvolvimento do Porto de Leixões, cuja análise será efectuada de uma forma um pouco mais intensiva num outro tópico deste trabalho. De assinalar apenas que, em termos estruturais, este plano contempla um novo terminal (Terminal Multiusos – construído em 2007 e 2008) e o rebaixamento do canal de navegação até à Doca Nº4.

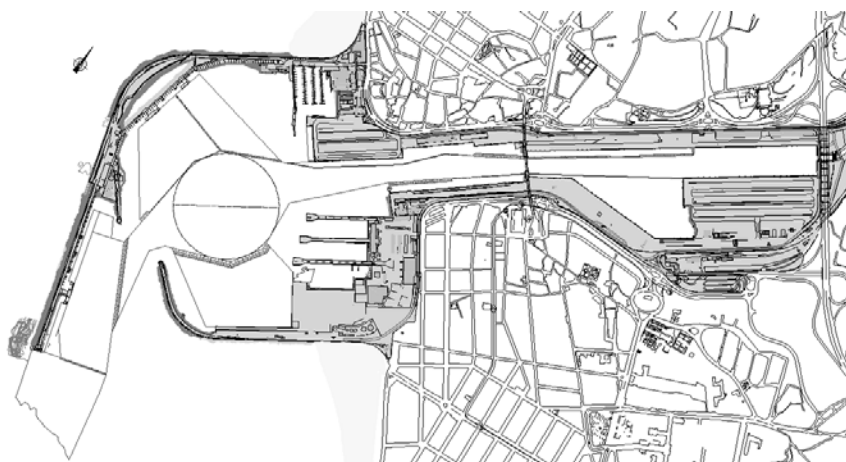


Fig. 34 - O Porto de Leixões actualmente - Fonte: APDL

3.2.2. PLANO ESTRATÉGICO DE DESENVOLVIMENTO DO PORTO DE LEIXÕES

Aprovado em 2003, numa altura em que se finalizava o Plano de Ordenamento e Desenvolvimento do Porto de Leixões (1996), este documento visava definir a linha de orientação do Porto de Leixões para um espaço temporal alargado até 2015.

Partindo de um diagnóstico aprofundado nos principais domínios que, a nível interno e externo, potencia ou condiciona a sua trajectória futura, o plano identifica quatro objectivos gerais para o desenvolvimento do porto (APDL, 2006):

- Consolidar e promover a marca «Porto de Leixões» de forma integrada e consequente;
- Organizar uma oferta de serviços de qualidade e ajustada às necessidades do mercado;
- Dotar o Porto de Leixões das condições materiais e imateriais de apoio à sua actividade;
- Reforçar as condições de integração urbana e de acessibilidade externa;

Para tal foi então elaborado o Plano Estratégico de Desenvolvimento do Porto de Leixões composto por 21 acções (APDL, 2006):

- Aumento da capacidade de navegabilidade do porto;
- Revitalização do molhe sul e espaços adjacentes;
- Melhoria das condições operacionais do Terminal Petrolífero;
- Projecto da portaria única;
- Reconversão de área para carga contentorizada;
- Estruturação da plataforma logística;
- Revitalização e reabilitação de espaços e edifícios;
- Incremento de espaços de “sociabilidade” do porto;
- Melhoria dos espaços de fronteira e colmatção de frentes urbanas;
- Implementação do parque urbano do Vale do Leça;
- Dinamização e envolvimento da comunidade portuária na promoção comercial;
- Relacionamento comercial;
- Relacionamento institucional;
- Relacionamento com as associações empresariais e API;
- Certificação do porto;
- Segurança da cadeia logística;
- Gestão ambiental;
- Sistema de informação geográfica;
- Portal do Porto de Leixões;
- Portal interno;
- Sistema de informação e gestão.

Das acções apresentadas, merecem especial destaque para este trabalho as acções 01 e 02, por envolverem directamente o aprofundamento de fundos. Estas acções demonstram a necessidade de prever melhores condições de profundidade para receber no futuro navios de calado maior.

Relativamente à acção 01, tem por objectivos (APDL, 2006):

- Permitir a entrada de navios de maior calado;
- Facilitar as manobras na bacia portuária, melhorando a capacidade dos postos para petroleiros e do novo terminal multi-usos;
- Ampliar a capacidade de circulação no porto anterior com vantagens simultâneas para o atravessamento do tráfego portuário.;

Para tal, prevêem-se as seguintes acções:

- Criação de uma nova bacia de rotação com 430m e fundos a -12m (ZHL);
- Rebaixamento do canal de acesso às docas interiores para os -12m (ZHL);
- Quebramento de rocha e novas aproximações aos portos “B” e “C” do Terminal de Petroleiros de Leixões;
- Construção de uma nova ponte móvel (com um vão de 77.5m) e criação de melhores ligações terrestres entre os dois pólos da cidade – Matosinhos e Leça.

O custo desta fase deverá rondar os 19 milhões de euros.

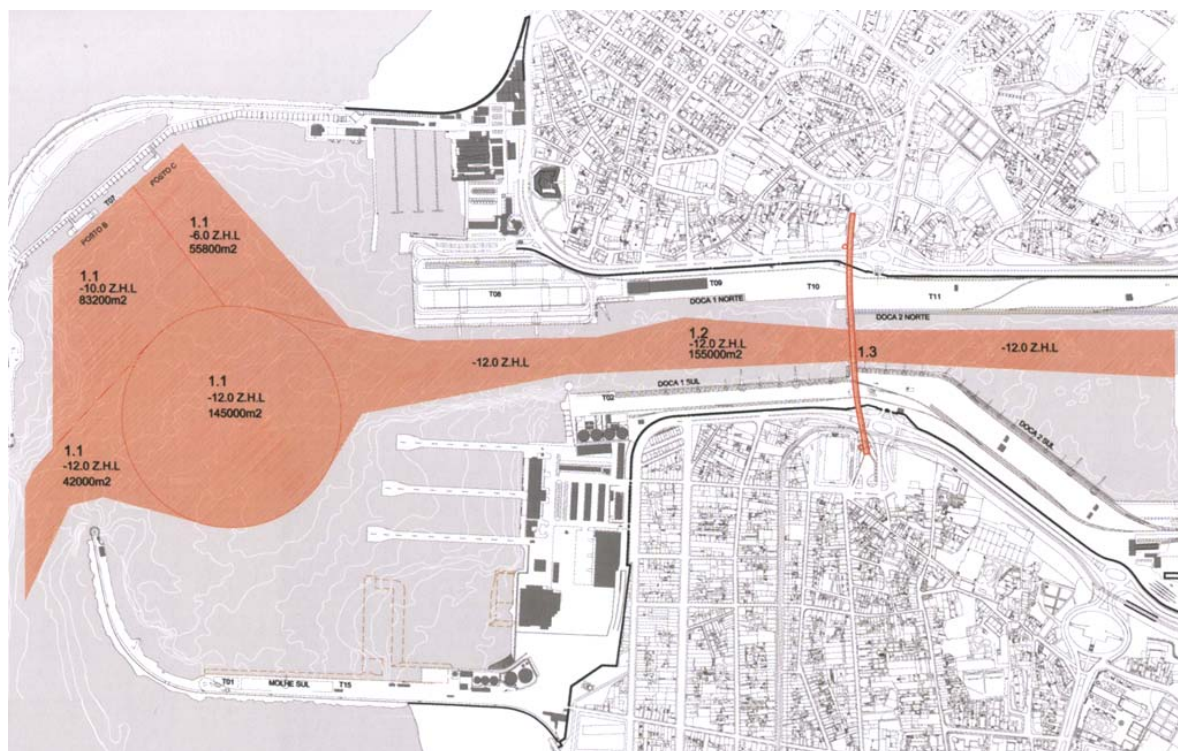


Fig. 35 - Planta geral da Acção 01 - Fonte: APDL

Por seu lado, a acção 02, com um orçamento superior a 18 milhões de euros, visa introduzir significativas mudanças na zona do molhe sul do Porto de Leixões (APDL, 2006):

- Ampliar o espaço portuário numa das últimas áreas disponíveis para o efeito;
- Criar e disponibilizar condições para o desenvolvimento do segmento de mercado roll-on/roll-off;
- Melhorar e ampliar as condições materiais para o desenvolvimento dos segmentos de mercado de transporte de passageiros.

Para tal prevê levar a cabo as seguintes tarefas:

- Reabilitar o cais acostável do molhe sul e construir um novo terminal multiusos que inclua uma rampa para roll-on/roll-off;
- Aumentar os fundos nas proximidades do novo terminal multiusos para a cota -8.5m (ZHL);

- Afectação da reserva portuária adjacente ao espaço das antigas carvoeiras;
- Construção de uma estação de passageiros incluindo outros espaços complementares;
- Ampliação do terrapleno do terminal multiusos.



Fig. 36 - Planta geral da acção 02 - Fonte: APDL

Uma parte significativa das acções deste plano encontra-se já executada.

3.2.3. PERSPECTIVAS FUTURAS

Como já foi previamente abordado, o Porto de Leixões representa um papel essencial na sanidade social e económica da região em que se encontra enquadrado. Torna-se por isso indispensável para essa região, que o porto viva com constantes planos de desenvolvimento e melhoria das condições que oferece aos seus intervenientes.

Os dados actuais e as perspectivas do futuro criam novas expectativas sobre as acções que se devem executar futuramente no porto tendo em vista colmatar as necessidades da região:

- Perspectiva-se a necessidade de aumento da capacidade do porto;
- É necessário investimento para manter a sua competitividade;
- As empresas clamam melhores condições para se tornarem igualmente mais competitivas;

O esquema seguinte dá o exemplo de um processo de análise possível para o Porto de Leixões:

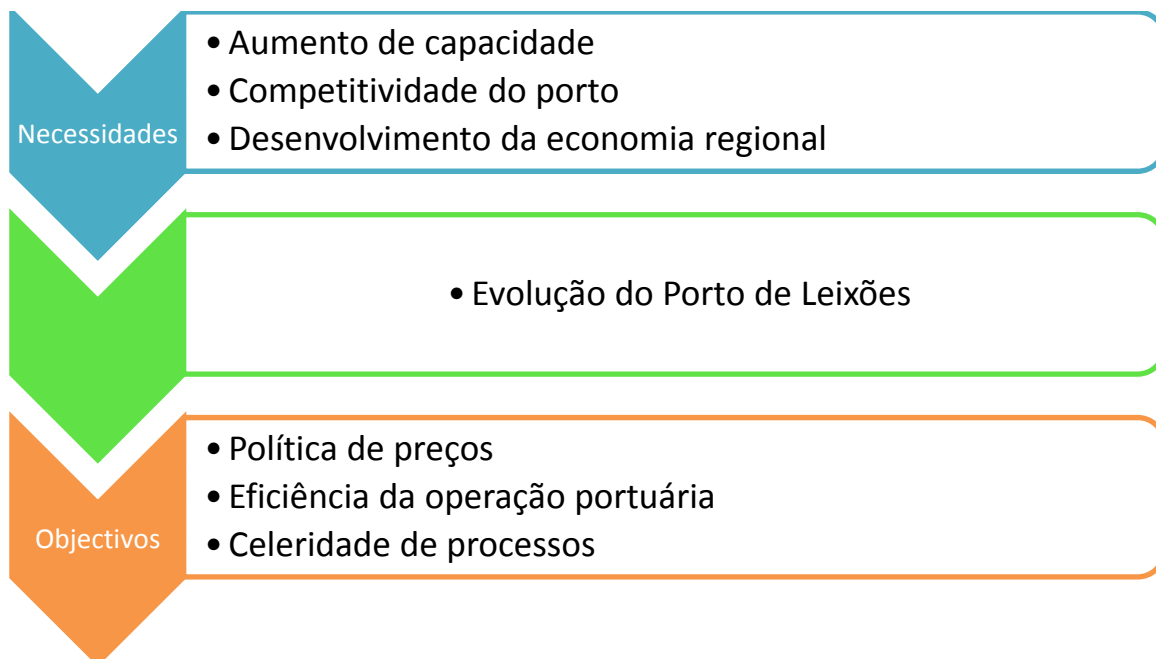


Fig. 37 - Esquema de um processo de análise tendo em vista o desenvolvimento do porto

- Aumento de capacidade

Notícias vinculadas à APDL indicam a vontade de aumento do seu hinterland. Esta possibilidade aumenta a necessidade de aumento de capacidade do porto, quer seja ao nível de quantidade quer ao nível da diversidade de produtos. O porto poderá dessa forma ver-se obrigado a receber mais produtos e produtos diferentes dos que movimenta actualmente.

- Competitividade do porto

O Porto de Leixões goza actualmente de uma posição dominante nas transacções de pessoas e bens. Para manter essa posição, terá necessariamente que investir de forma eficaz garantindo melhores condições para os transportes nacionais (competindo com portos como Aveiro, Figueira da Foz e Viana do Castelo) e transportes internacionais (com a competição de portos como Vigo, Corunha, Sines e Lisboa). A falta de investimentos apropriados poderá colocar em causa o domínio de Leixões e, consequentemente, prejudicar a economia que lhe está associada.

- Desenvolvimento da economia regional

Com a promoção de planos de desenvolvimento do porto, a actividade económica do seu hinterland tem tendência a reagir favoravelmente o que terá necessariamente impacto na sociedade. A eles estão geralmente associados crescimentos de postos de trabalho e rendimento *per capita*.

Porém, analisando o PEDPL, encontram-se as orientações para o futuro do Porto de Leixões:

- Aumento de capacidade tendo em vista sustentar a tendência de crescimento do tráfego intra-comunitário;
- Tornar-se mais competitivo não só em relação a outros meios mas também em relação a outros portos mais próximo: no preço, na eficiência e na celeridade;

- Acolhimento de navios de maior dimensão;
- Optimizar a utilização dos espaços de exploração portuária;
- Aumento da capacidade de navegabilidade do porto.

3.3. IMPORTÂNCIA SÓCIO-ECONÓMICA DO PORTO DE LEIXÕES

A importância de um porto não se esgota enquanto plataforma logística de transporte de bens e pessoas. Dele depende toda uma região que se encontra, necessariamente, ligada a ele de forma directa ou indirecta.

Se por um lado a economia depende de um bom sistema de transportes, é igualmente inquestionável que uma sociedade equilibrada depende de uma economia que garanta a riqueza necessária para uma boa qualidade de vida.

É por isso totalmente correcto afirmar-se que, directa e indirectamente, o porto é uma peça vital para o bem-estar e a qualidade de vida das populações da sua área de influência. O porto não só cria emprego e negócio nas suas imediações, como é também responsável pela melhoria de capacidade das empresas e, conseqüentemente, pelo aumento do emprego na sua área de influência.

Falar da importância sócio-económica do Porto de Leixões é, naturalmente, semelhante a falar da saúde económica do seu “hinterland”. Dada a dificuldade em defini-lo com exactidão e recolher dados que o caracterizem, levar-se-á a cabo a análise da evolução do porto, admitindo-se que a sua evolução favorável estará intrinsecamente ligada à evolução favorável da economia da sua área de influência.

De facto, a importância do Porto de Leixões prolonga-se muito para além da região onde se encontra situado. A sua zona de influência estende-se por toda a região norte e parte da região centro do país. É aliás do interesse da administração do porto, a ampliação do seu hinterland para as regiões de Castela e Leão (Espanha). Para tal foi assinado um protocolo entre a APDL e a Zaldesa (gestora da plataforma logística de Salamanca) (Fonte: RTP) .

Como foi dito no início deste capítulo, pelo Porto de Leixões circulam actualmente 23% das mercadorias transaccionadas pelos principais portos nacionais.

O gráfico seguinte apresenta a evolução da percentagem de navios que transitaram nos principais portos nacionais (Fonte – sítios na internet dos vários portos):

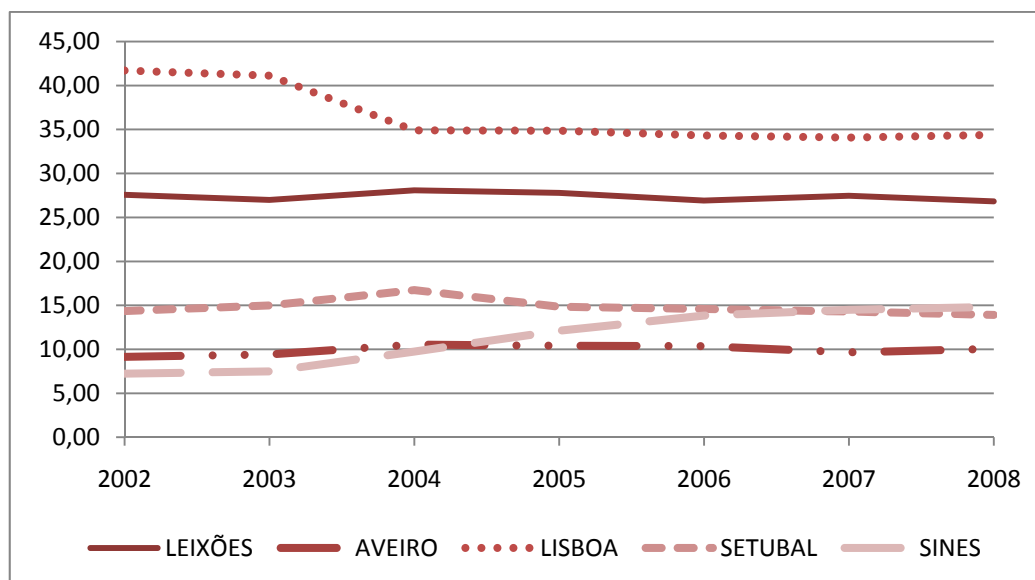


Fig. 38 - Evolução da percentagem dos navios que transitaram nos principais portos nacionais – Fonte: IPTM

Leixões é actualmente o segundo mais movimentado porto de Portugal, passando por lá cerca de 27% dos navios que transitam nos principais portos portugueses. A sua relevância tem-se mantido constante ao contrário de Lisboa que tem visto a sua importância diminuir em detrimento de Sines.

Sendo essencialmente um porto comercial de mercadorias, seria desde logo de esperar o cenário seguinte:

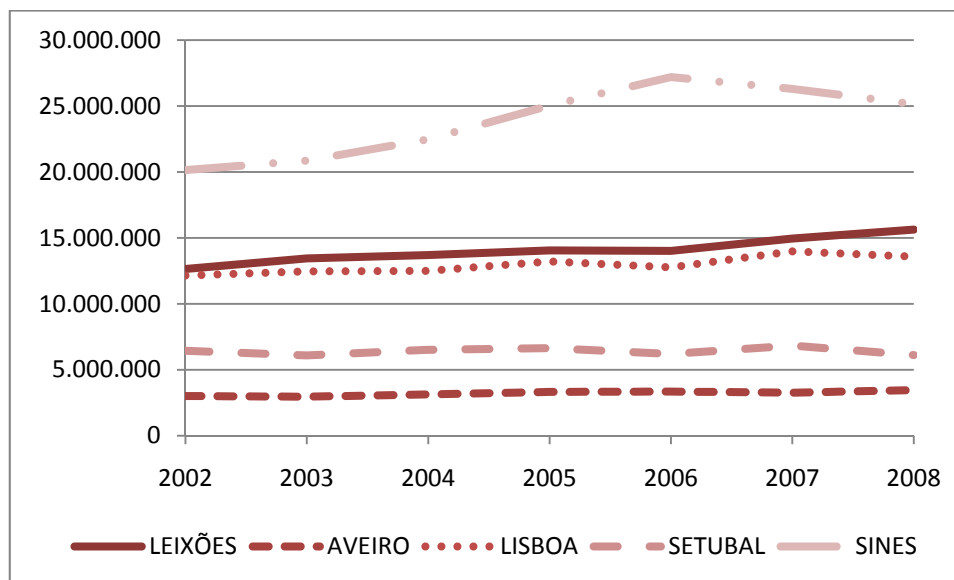


Fig. 39 - Evolução da distribuição das mercadorias pelos portos nacionais – Fonte: IPTM

Nesta estatística o Porto de Leixões mantém a segunda posição, mas desta vez ultrapassado por Sines. O Porto de Lisboa ocupa a terceira posição pelo facto de ser um porto com uma importante componente de transporte de passageiros no total das movimentações anuais.

De salientar que nos dados do Porto de Lisboa estão inseridos os valores relativos ao transporte proveniente do transporte fluvial que representam cerca de 5% do tráfego de mercadorias do porto.

Leixões mantém um crescimento relativamente constante no volume de mercadorias que nele são carregadas/descarregadas, com um crescimento médio de 3% ao ano.

Segundo dados do IPTM, Leixões assume-se hoje em dia como o segundo mais importante porto de transacções de mercadorias do país, sendo superado apenas pelo Porto de Sines, quer em mercadorias carregadas ou mercadorias descarregadas:

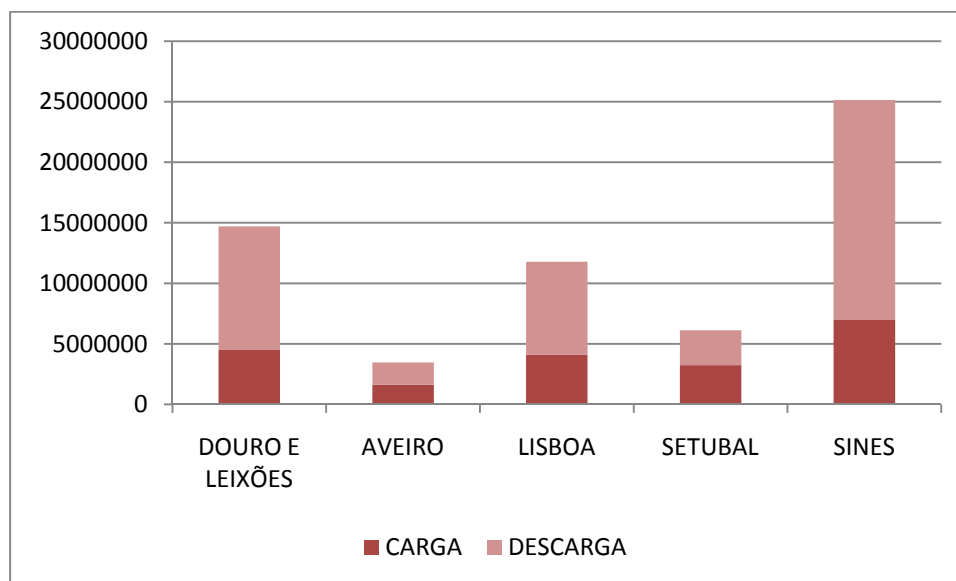


Fig. 40 - Volume de cargas e descargas nos principais portos portugueses em 2008 – Fonte: IPTM

O Porto de Leixões assume-se assim como um ponto estratégico nacional para a movimentação de mercadorias. O volume de mercadorias que passam pelo porto, aliada à evolução favorável desse factor, tornam a sua zona de influência mais competitiva em termos económicos e permite às empresas uma estabilidade e um nível de confiança indispensáveis para nela se fixarem e se desenvolverem. Com um sistema económico forte, fiável e estável, verifica-se uma evolução positiva na qualidade de vida das pessoas.

4

A CONSTRUÇÃO/REABILITAÇÃO DE CAIS ACOSTÁVEIS

4.1. ASPECTOS GERAIS

Por cais acostáveis entendem-se as obras cuja finalidade é oferecer condições de atracação de navios que permitam realizar operações de carga e descarga de mercadorias, embarque e desembarque de passageiros, reparações, etc.

A sua concepção teve origem na necessidade de conceber uma plataforma a seco que permitisse efectuar essas operações em zonas cuja profundidade não originasse risco de naufrágio.

Os primeiros cais acostáveis eram constituídos por estacas de madeira cravadas no terreno sobre as quais se construía uma plataforma geralmente do mesmo material:



Fig. 41 - Dutch Harbor, 1912 - Fonte: US Navy

A globalização do transporte marítimo provocou um aumento significativo da necessidade de estruturas de acostagem o que proporcionou o aparecimento de novas soluções técnicas para a sua construção. A localização dos novos portos exigia por vezes uma maior preocupação nas condições de estabilidade do cais e surgiu igualmente a necessidade de aumentar a capacidade dos mesmos para receber as novas acções incidentes.

Quer seja pela falta de condições que as localizações dos novos portos ofereciam ou pela necessidade de incremento de segurança nos cais existentes, foram surgindo grandes projectos de requalificação e reforço de cais existentes.

Presentemente, a construção de novos cais acostáveis está associada a:

- Construção de novos portos;
- Aumento de extensão de acostagem;
- Construção de novos terminais com novas características;
- Aumento de terraplenos;
- Recepção de navios de maiores dimensões.

Porém, os tempos são essencialmente de reforço e reabilitação de estruturas existentes. Grande parte dos portos encontram-se perante a necessidade de crescimento e de revisão das estruturas existentes. Vários são os motivos que proporcionam tal necessidade:

- Danos que colocam em causa a estabilidade;
- Mudanças na função do cais (p. ex.: recepção de outras mercadorias);
- Aumento de carga no cais (p. ex.: maior altura de contentores);
- Recepção de navios de maior calado.

Actualmente as técnicas de construção de cais acostáveis podem dividir-se em relação ao paramento de acostagem distinguindo-se as que têm paramento vertical contínuo das que não têm.

No grupo das obras com paramento vertical contínuo, F. Veloso Gomes considera agrupáveis as soluções executadas (Veloso-Gomes, 2008):

- Em blocos de betão pré-fabricados;
- Em caixões de betão armado pré-fabricados
- Por agrupamento de células: metálicas, em betão armado ou em betão pré-esforçado;
- Através da cravação de estacas prancha metálicas;
- Tipo “Dinamarquês” com cortina de retenção avançada ou recuada;
- Com recurso às paredes de betão armado moldadas no solo.

No conjunto de obras sem paramento vertical contínuo o mesmo autor agrupa as soluções (Veloso-Gomes, 2008):

- Plataforma sobre estacas e pontes cais: em betão armado, betão pré-esforçado, aço e mistas;
- Em caixões em Duques d’Alba;
- Em células em Duques d’Alba;
- Em Estacas em Duques d’Alba.

Ainda no mesmo documento pode encontrar-se uma classificação das estruturas de acostagem quanto à transmissão de acções à fundação. Nessa classificação o autor, F. Veloso Gomes, distingue entre (Fonte: Veloso-Gomes)::

- Estruturas “Gravíticas”;

- Estruturas “Flexíveis”;
- Plataformas sobre estacas e estruturas porticadas;
- Estruturas Mistas;
- Estruturas Flutuantes.

A escolha de uma solução depende de vários factores. As especificidades da localização e dos objectivos da obra, assim como a capacidade das empresas responsáveis pela sua construção, tornam necessária uma avaliação rigorosa das soluções que podem ser adoptadas.

F. Veloso-Gomes sugere então os seguintes “factores a ponderar na selecção de estruturas de acostagem” (Fonte: Veloso-Gomes)::

- Função da estrutura;
- Cota de fundação/profundidades de água;
- Características geotécnicas;
- Continuidade/descontinuidade dos paramentos;
- Acções: acostagem, amarração e sobrecargas de equipamentos;
- Técnicas construtivas disponíveis: equipamentos, pré-fabricação, rendimentos, qualidade e incorporação de tecnologia nacional;
- Materiais disponíveis: durabilidade, manutenção, quantidades e características mecânicas;
- Prazos de execução;
- Custos: construção, exploração e manutenção;
- Ocorrência de assoreamentos e possibilidade de operações de dragagem;
- Importância das correntes e da agitação.

4.2. SOLUÇÕES TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DE CAIS ACOSTÁVEIS

4.2.1. SOLUÇÕES GRAVÍTICAS

Uma solução gravítica consiste em executar uma estrutura cujo peso próprio terá um papel fundamental para a estabilidade do conjunto. Será exactamente a acção do peso próprio da estrutura o alvo de estudo em fase de projecto. O dimensionamento tem como resultado o valor da força necessária para promover as condições de estabilidade e essa força é materializada através do projecto das dimensões e pesos volúmicos.

A sua idealização pode ser feita por assimilação de um bloco maciço com paramento exterior vertical, para que nele possam acostar as embarcações, e paramento interior que apresenta por vezes uma configuração ligeiramente diferente. Esta diferença no paramento interior faz-se notar pela existência de larguras transversais maiores na base da estrutura aproveitando-se dessa forma o efeito estabilizador do peso próprio das terras do local.

Sendo o peso próprio da estrutura um elemento primordial para a estabilidade do conjunto, é característico obter-se como resultado de um dimensionamento uma estrutura de enormes dimensões, o que lhe confere desde logo uma limitação importante uma vez que a sua execução se torna exigente em termos de condições logísticas e de espaço.

A sua execução pode ser realizada com recurso às seguintes técnicas:

- Execução no local de toda a estrutura;
- Estrutura constituída pela associação de “pilhas” de blocos.

A execução *in situ* deste tipo de estruturas é raramente uma solução adoptada. Para tal seria necessário prever-se a execução de grandes obras para executar ensecadeiras com óptimas condições de estanquidade o que tornaria anti-económica a obra.

Os motivos apresentados, fazem com que a escolha recaia sobretudo na solução de cais gravíticos executados pela sobreposição de blocos, geralmente de betão armado, com dimensões variáveis consoante as condições disponíveis no local:

- Blocos maciços de betão;
- Caixões - grandes estruturas de betão armado transportáveis apenas por flutuação;
- Aduelas - pequenos blocos ocios de betão armado cujo transporte é mais flexível.

As estruturas compostas por blocos de betão sobrepostos terão sido, provavelmente, as primeiras soluções estruturais para este tipo de obra. Os blocos têm configuração aproximadamente de paralelepípedos com dimensões variáveis consoante a sua localização na “pilha”. Os que se localizam na parte inferior do cais apresentam geralmente maior largura transversal procurando-se aproveitar o efeito do peso próprio dos solos como se havia dito anteriormente.

Refira-se que este tipo de cais é feito de forma seccionada tendo em vista a possibilidade de cada secção sofrer assentamentos diferenciados. Após colocação dos blocos, é geralmente executada uma superestrutura contínua através de uma betonagem *in situ* que solidariza as várias secções.

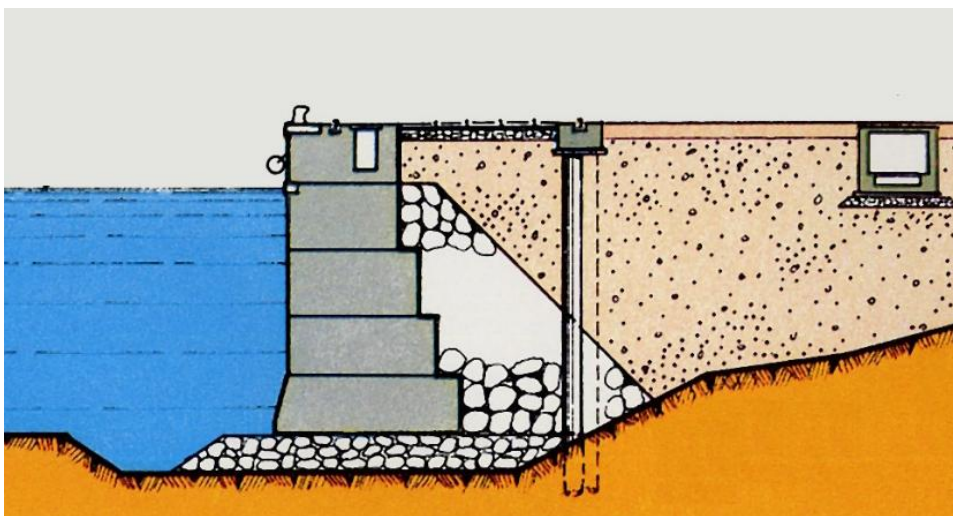


Fig. 42 - Cais gravítico com recurso a blocos maciços de betão – Fonte: Veloso-Gomes

O facto de lhe serem atribuídas grandes exigências ao nível de materiais e equipamentos tornam esta solução pouco atractiva. Ainda assim, é uma solução que se assume como de simples dimensionamento e execução, e geralmente garante altos níveis de durabilidade.

Recentemente, esta solução esteve em destaque. Uma das suas grandes limitações, o elevado coeficiente de reflexão das ondas incidentes, deixou de ser factor eliminatório com a invenção dos blocos NOREF (Non Reflection Blocks). Estudos levados a cabo no tanque de ondas do Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Civil da FEUP atestam que esta nova configuração dos blocos permite a absorção de parte da agitação incidente contribuindo para a pacificação indispensável no interior dos portos, principalmente nas proximidades dos cais acostáveis.

O recurso aos blocos NOREF é já uma realidade como é exemplo o novo Terminal Multiusos do Porto de Leixões.

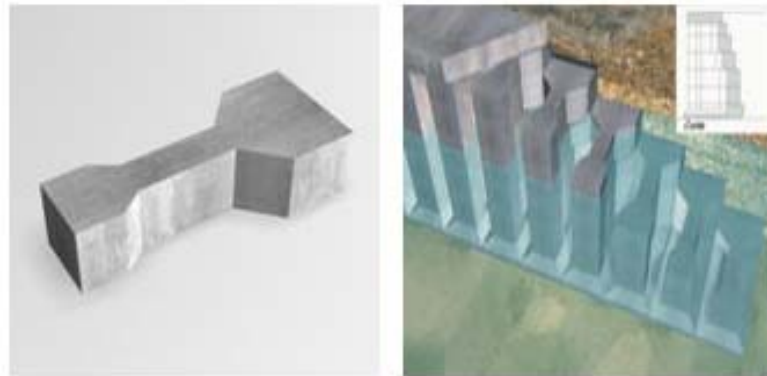


Fig. 43 - Blocos NOREF – Fonte: Laboratório de Hidráulica da FEUP

Sendo esta solução (blocos maciços de betão) muito exigente quer ao nível de equipamento quer ao nível de volumes de materiais necessários, surgiram formas mais aligeiradas que permitem as mesmas garantias de estabilidade recorrendo a uma quantidade menor de betão em conjugação com outros materiais, nomeadamente materiais inertes: caixões celulares e aduelas.

Os caixões celulares são grandes estruturas ocas de betão armado flutuáveis. Devido à sua forma enquanto vazios assemelha-se a uma barcaça. Estes são geralmente construídos em zonas de agitação baixa e rebocados para a zona onde serão posteriormente afundados e preenchidos com material que providenciará o peso próprio necessário à estrutura para que se mantenha estável.

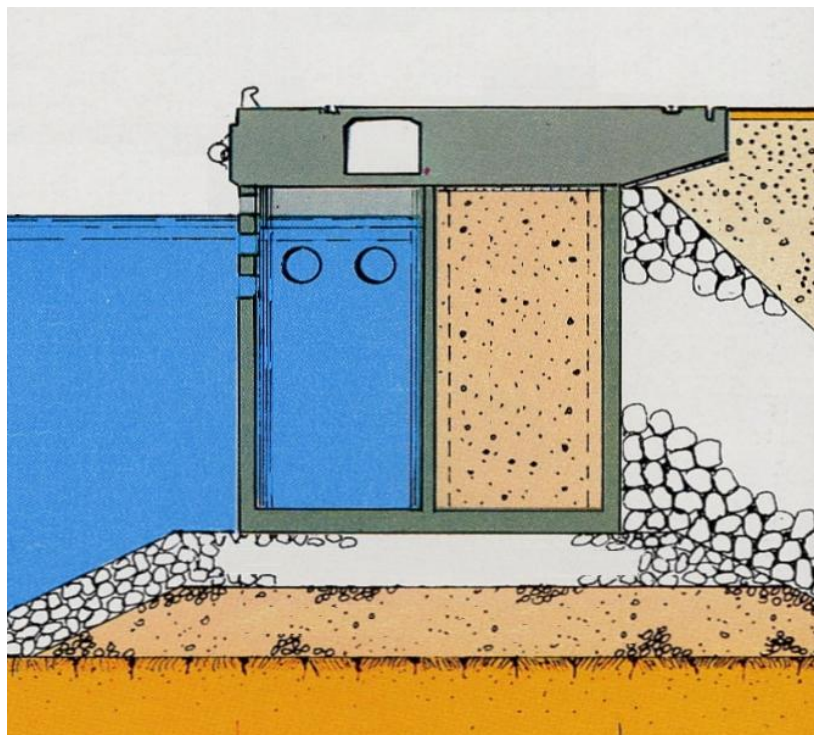


Fig. 44 - Solução em caixões celulares – Fonte: Veloso-Gomes

Na imagem apresenta-se um caixão celular com uma cavidade que permite a entrada de água de um lado e outra cavidade preenchida com material granular.

Outra solução consiste na construção de elementos de betão armado de dimensões menores que permitem um manuseamento facilitado sendo posteriormente preenchidas por betão ou material granular da mesma forma que os caixões. Esta solução tem sido opção sobretudo quando se torna anti-económico construir caixotões.



Fig. 45 - Aduela (Molhes do Douro) – Fonte: IPTM-2

O processo construtivo de uma estrutura gravítica depende, como seria de esperar, da solução adoptada. A opção escolhida terá especificidades não só no seu dimensionamento mas também na fase da sua construção.

No caso de a estrutura ser executada *in situ*, pode identificar-se o seu processo construtivo com o de outra qualquer obra de betão armado. Neste caso a construção teria forçosamente que ser executada a seco o que obriga à prévia construção de uma enscadeira. Posteriormente são montadas as cofragens e as armaduras com as características que haviam sido descritas pelo projectista. O próximo passo será a betonagem da estrutura ao qual se seguirá um período de cura do betão até que este adquira propriedades de resistência consideráveis.

Dadas as grandes dimensões que vulgarmente estão associadas a este tipo de obras, divide-se geralmente a obra em secções mais pequenas que no fim serão solidarizadas através da betonagem da superestrutura.

No caso de se recorrer a elementos pré-fabricados o processo é, no geral, transversal às várias hipóteses. O processo consiste em executar a pré-fabricação dos elementos no local ou nas proximidades. No caso das aduelas, a sua construção é tradicionalmente executada em estaleiro próximo da zona de colocação enquanto os caixões são preferencialmente executados em zonas de agitação reduzida. Esta distinção deve-se às diferenças de peso entre as duas possibilidades. Sendo

estruturas ocas e leves, as aduelas podem ser manuseadas com os equipamentos disponíveis no mercado. Enquanto os caixões, cujo peso impede que seja fácil o seu manuseamento são geralmente executados em zonas com boas condições de agitação e posteriormente rebocados para a zona de obra onde serão alinhados e afundados.

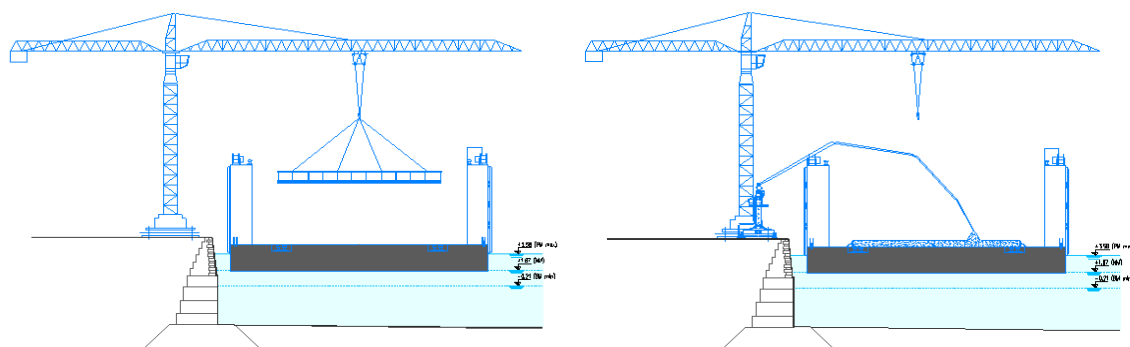


Fig. 46 - Fases de Pré-Fabricação de Aduelas nos Molhes do Douro – Fonte: IPTM-2

Na imagem anterior distinguem-se 4 fases de construção das aduelas:

- Colocação de armaduras;
- Colocação de cofragens;
- Betonagem;
- Cura do betão.

Na figura seguinte mostram-se os esquemas de pré-fabricação dos caixotões usados para materialização do Molhe Norte da Foz do Douro.



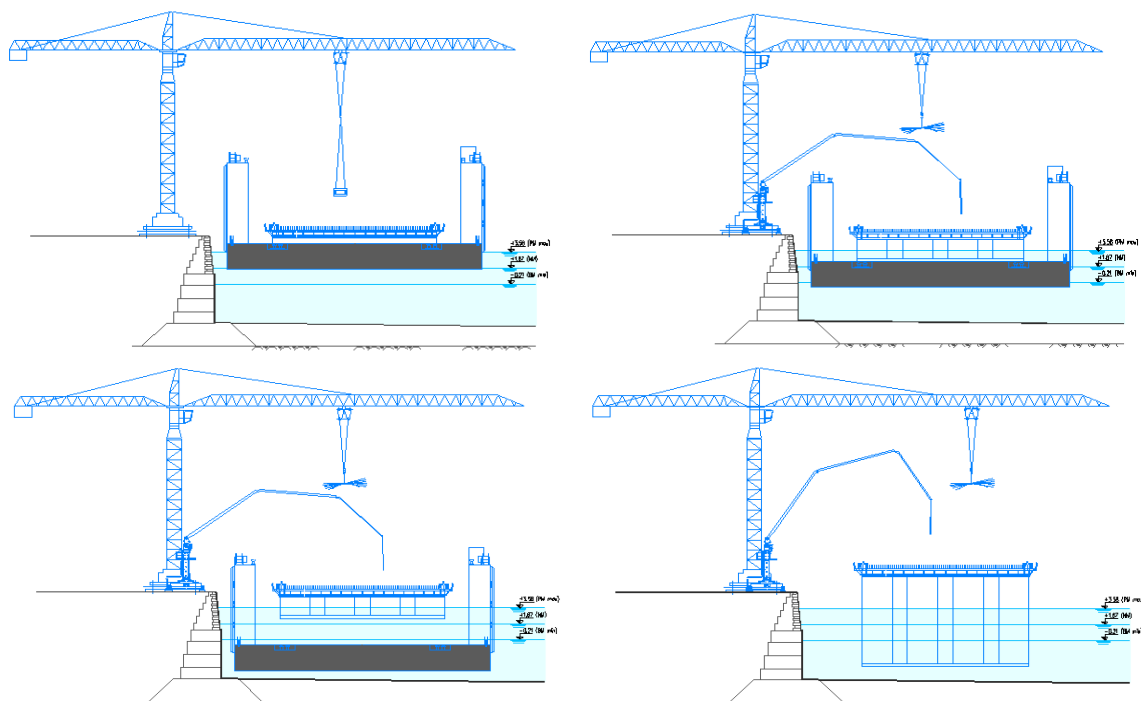


Fig. 47 – Esquemas de execução de caixões celulares de betão armado para os Molhes do Douro – Fonte: IPTM-2

Na figura mostram-se algumas das várias fases da construção:

- Colocação de cofragem e armaduras da base do caixotão;
- Betonagem da base do caixotão;
- Deslizamento das cofragens e colocação de armaduras na nova secção;
- Betonagem da nova secção;
- Colocação do caixotão a flutuar;
- Betonagem da parte superior do caixotão.

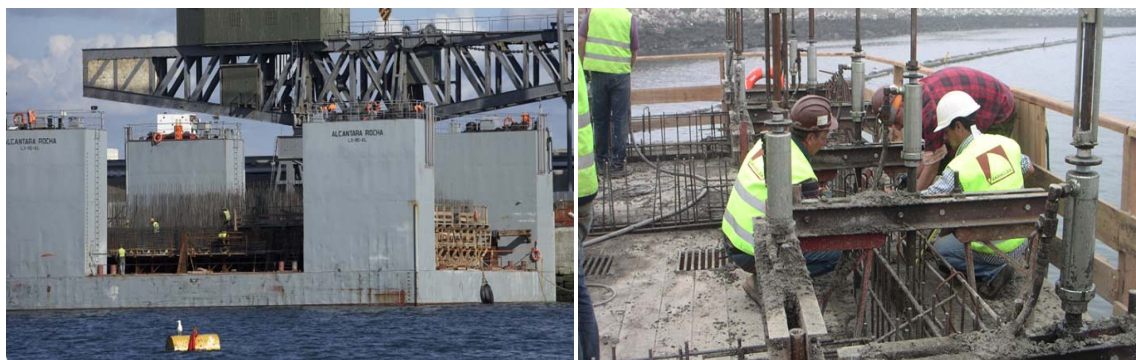




Fig. 48 - Imagens da execução dos caixotões para o Molhe Norte do Douro - Fonte: IPTM-2

Após término da pré-fabricação das aduelas e dos caixotões, são armazenados até que seja possível serem posicionados e afundados:



Fig. 49 - Armazenamento de Aduelas e Caixões do Molhe Norte do Douro - Fonte: IPTM-2

Quando o mar o permite, os processos seguintes são realizados. Primeiro é necessário preparar-se a base sobre a qual se pretende apoiar as estruturas. Para tal processa-se ao quebramento e dragagem de rocha submersa com recurso a equipamentos especializados e a explosivos (quando possível e necessário).

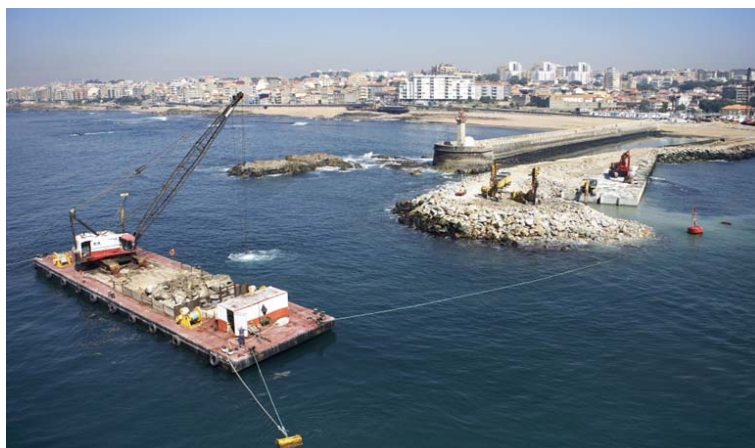


Fig. 50 - Quebramento e dragagem de rocha no Molhe Norte do Douro - Fonte: IPTM-2

Finalmente, procede-se à colocação dos elementos pré-fabricados com o auxílio de equipamentos mecânicos e mergulhadores, sendo posteriormente betonada a superestrutura que irá solidarizar todo o conjunto. No caso dos caixões, o afundamento é inicialmente feito por preenchimento das suas cavidades com água posteriormente substituída por outro material mais de maior peso volumico. Isto permite algum retrocesso caso o aprofundamento não esteja a correr como previsto.



Fig. 51 - Transporte e colocação das aduelas no Molhe Norte do Douro - Fonte: IPTM-2



Fig. 52 - Transporte e colocação dos caixotões do Molhe Norte do Douro - Fonte: IPTM-2

4.2.2. PLATAFORMAS SOBRE ESTACAS E ESTRUTURAS PORTICADAS

Este tipo de cais é constituído por uma laje suportada por elementos de fundação profunda, como é o caso das estacas (consoante a sua secção transversal). Estes elementos terão a função de transmitir as cargas entre a parte superior da estrutura e a camada firme da fundação.

Trata-se de uma solução constantemente utilizada uma vez que permite bastante flexibilidade para a sua execução. Por outro lado reduz-se significativamente o custo associado a este tipo de obra. A execução de uma laje é prática corrente nas empresas de construção e a execução das estacas, apesar de necessitar de equipamentos especiais, permite igualmente flexibilidade e consequentemente diferenças ao nível do custo de execução.

Por outro lado, o vazio existente na parte inferior da laje permite absorver alguma agitação e proporcionar melhores condições para a navegação e atracação de navios.

A popularidade desta estrutura está ainda associada à possibilidade à geotecnia. Muitos portos situam-se na foz de rios, locais de difíceis condições de solo. Muitas vezes são terrenos de aluvião com presença de camada resistente de solo a profundidades muito altas inviabilizando a execução de estruturas gravíticas. Os cais sobre estacas permitem exactamente transmitir as cargas a essa camada sem necessidade de grandes escavações ou construção de grandes estruturas.

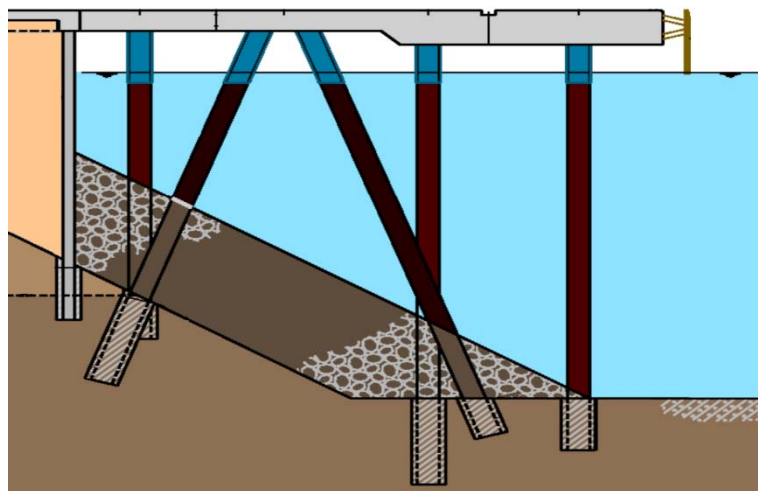


Fig. 53 - Exemplo de um cais apoiado sobre estacas - Fonte: HPA

Distinguem-se dois métodos para a execução de estacas: moldadas ou cravadas no terreno.

As estacas moldadas resultam da furação do terreno, colocação de armadura e betonagem, segundo um processo construtivo aproximadamente igual ao seguinte:

- Implantação
- Deslocação e posicionamento da máquina de furação
- Furação dos aluviões
- Montagem de uma mesa rotativa
- Montagem de uma ferramenta de corte para furação de camada mais firme
- Desmontagem da mesa rotativa
- Lavagem e enchimento da coluna com água
- Colocação das armaduras
- Betonagem e cura
- Demolição da cabeça da estaca

Já as estacas cravadas são elementos pré-fabricados e colocados por introdução forçada no terreno. Os materiais mais utilizados para este tipo de estaca são o betão, o aço e a madeira:

- Madeira – emprega-se em terrenos permanentemente secos ou permanentemente húmidos, uma vez que a variação de condições de humidade favorece a sua deterioração; são dotadas de um bico metálico não recuperável para ajudar à penetração e um anel metálico na parte superior para proteger as estacas do equipamento de percussão; podem ser unidas várias secções mas é desaconselhável.
- Betão armado – apropriada para praticamente todos os solos; poderá prever-se uma ponteira metálica em solos muito duros; na ponta da estaca deve prever-se a reunião de todos os varões longitudinais para reforço dessa zona; a cabeça da estaca é protegida contra o esboroamento provocado pelo macaco; a estaca deve ser ligeiramente mais comprida que o necessário e, após cravação, degolada a parte superior.
- Metálicas – indicadas para terrenos arenosos e lodosos bem como para terrenos em que a madeira não é apropriada; fáceis de cravar e com boa resistência; fácil emendar por soldagem; várias possibilidades de equipamentos de cravação.

O processo construtivo desta solução apresenta-se com maior simplicidade:

- Pré-fabricação dos elementos, geralmente realizada em locais externos ao estaleiro
- Transporte para o estaleiro
- Implantação
- Posicionamento da estaca com a inclinação de projecto (no caso de estacas de betão a sua posição deve ser vertical para não provocar na peça esforços não previstos em projecto)
- Cravação da estaca (método iterativo)
 - Libertação de um martelo que cai por gravidade sobre a cabeça da estaca
 - Elevação do martelo para a sua posição inicial
 - Ligação através de chapas metálicas entre as estacas caso a estaca continue a penetrar no solo
 - Fim de cravação quando se der a “nega” – a ponta da estaca atinge o solo rígido e não penetra mais
- Execução laje maciça apoiada sobre as estacas

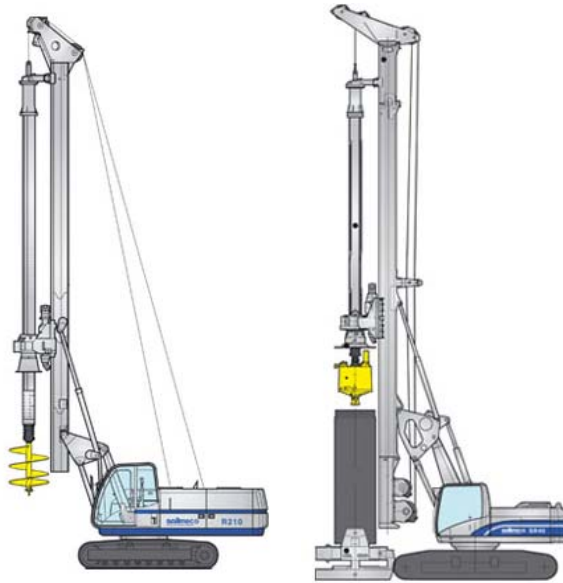


Fig. 54 - Equipamentos de execução de estacas - Furação e Cravação – Fonte: Soilmec

4.2.3. ESTRUTURAS FLUTUANTES

Este tipo de solução é geralmente usado em marinas uma vez que não apresenta grande capacidade de carga. Estruturas flutuáveis são ligadas a estacas que fixam o seu posicionamento no plano horizontal. A sua posição vertical é variável consoante a maré, dado a sua capacidade de flutuação.

Esta opção, apesar de apresentada, não poderá ser utilizada no caso em estudo, no qual se pretende estudar situações de acostagem de navios e movimentação de cargas de elevada tonelagem, pelo que se entende não funcionar como alternativa.



Fig. 55 - As estruturas flutuantes são vulgarmente utilizadas em marinas

4.2.4. ESTRUTURAS MISTAS

O dimensionamento de estruturas de acostagem apresenta-se por vezes com especial complexidade. Perante determinadas condições locais, o resultado obtido da utilização de uma só solução técnica de construção de cais acostáveis implica um investimento avultado para garantir que a estrutura resista às acções a que poderá estar sujeita.

Nessas situações a solução tem recaído na adopção de outras soluções estruturais cujo efeito irá complementar a técnica base. Disso é exemplo a figura:

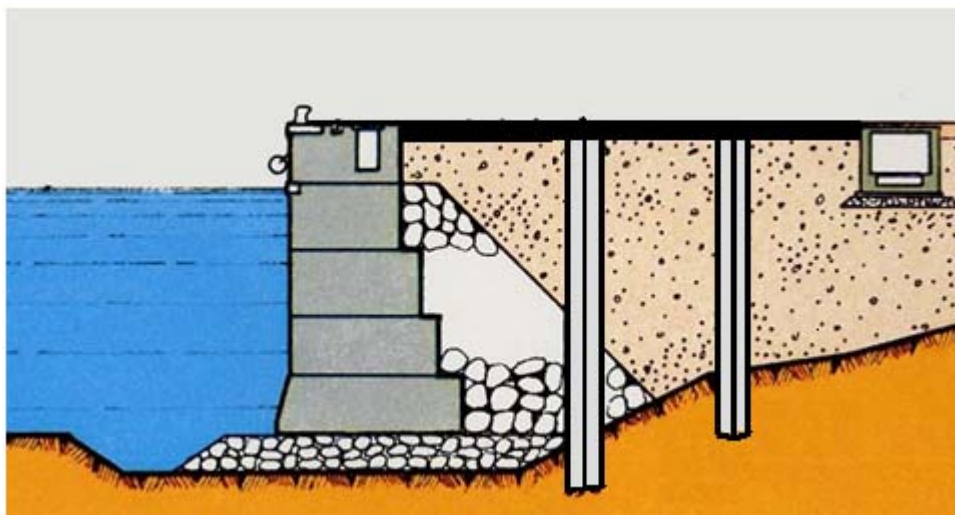


Fig. 56 - Exemplo de uma estrutura mista

Verificou-se, ainda na fase de dimensionamento, que as dimensões que a estrutura teria caso fosse dimensionada apenas como cais gravítico seriam in comportáveis.

Para solucionar esse problema, procedeu-se à idealização de uma superestrutura apoiada em estacas para que a sobrecarga seja transmitida directamente à fundação em vez de actuar indirectamente sobre o muro-cais de gravidade. Dessa forma, aliviou-se a estrutura gravítica permitindo obter-se um dimensionamento de uma estrutura cujo preço final que se pode considerar dentro dos limites aceitáveis.

As estruturas mistas resultam não só da adopção de soluções estruturais diferentes (como é este o caso) como também da utilização de diferentes tecnologias de melhoramento de solo e reforço da estrutura.

4.3. SOLUÇÕES TÉCNICAS DE REFORÇO DE CAIS ACOSTÁVEIS

4.3.1. JET GROUTING

Desenvolvida originalmente em 1970, a técnica do Jet Grouting consiste na aplicação de uma elevada energia cinética de desagregação da estrutura do terreno natural através de potentes jactos horizontais. O seu efeito é conseguido pela acção da mistura de uma calda de cimento (que é injectada durante a degradação do solo existente) com as partículas do solo desagregado dando origem a um maciço rochoso com melhores características mecânicas e menor permeabilidade.

Além da calda de cimento pode recorrer-se à injeção de outras substâncias o que permite ao método alargar o âmbito de solos potencialmente tratados por esta técnica. Consoante o sistema de jactos adoptado, este método divide-se em:

- Jacto simples;
- Jacto duplo;
- Jacto triplo.

A figura seguinte mostra as diferenças entre os vários sistemas disponíveis:

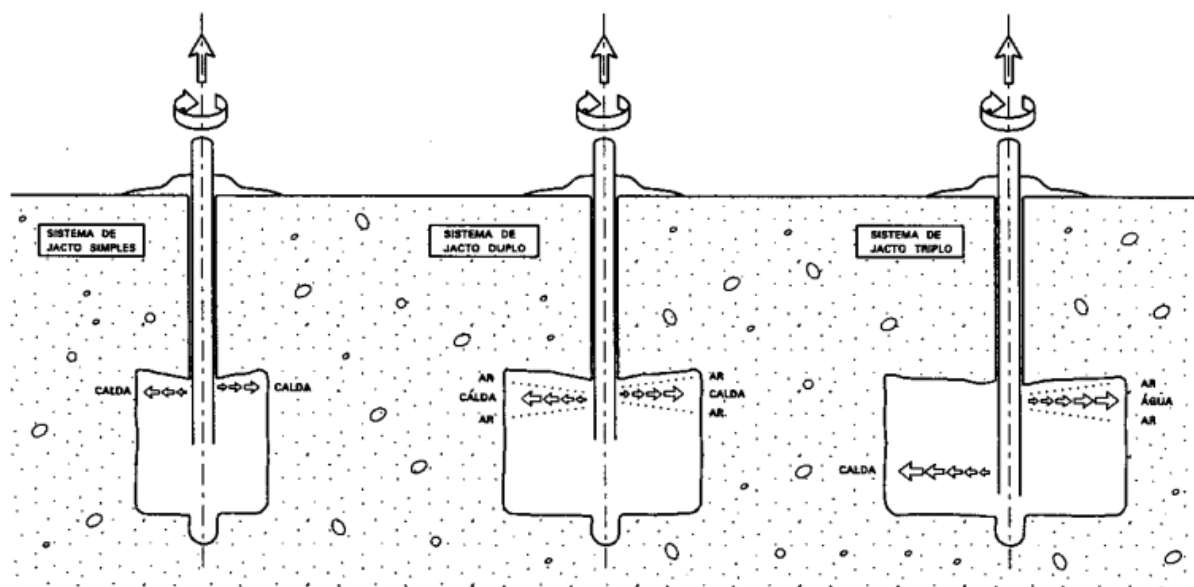


Fig. 57 - Sistemas de Jet-Grouting – Fonte: Joana Rodrigues Carreto

No caso de Jacto Simples, são utilizados um ou mais jactos horizontais de calda de cimento que simultaneamente desagregam e se misturam com o próprio solo desagregado.

Quanto ao Jacto Duplo, difere do anterior por utilizar ar comprimido a envolver o jacto de calda. O recurso ao ar comprimido permite obter alcances superiores do jacto. O procedimento é em tudo idêntico ao do jacto simples porém com recurso a duas varas coaxiais.

Já entre os sistemas apresentados e o sistema de jacto triplo, as diferenças são maiores apesar de tal não ser facilmente perceptível numa primeira análise. Neste caso são utilizados três jactos mas, ao contrário dos sistemas anteriores, cada um com função específica:

- Jacto de água – utilizado para destruir a estrutura do terreno;
- Jacto de ar – aumenta o efeito desagregador da água; facilita a expulsão da água;
- Jacto de calda – mistura a calda com o terreno que restou da passagem do jacto de água e ar, dando origem a um corpo solidificado.

A utilização de cada sistema depende essencialmente de dois factores: a coesão do solo e o diâmetro do cilindro a tratar. Assim sendo, para solos com índices de coesão maiores e diâmetros menores deverá optar-se por o sistema de jacto simples. Pelo contrário, para cilindros de grande diâmetro e solos de baixa coesão deve optar-se pelo sistema de jacto triplo (Guy de Castro, 1989/Ricardo Kaidussis e Ferran Gomez de Tejada, 2000).

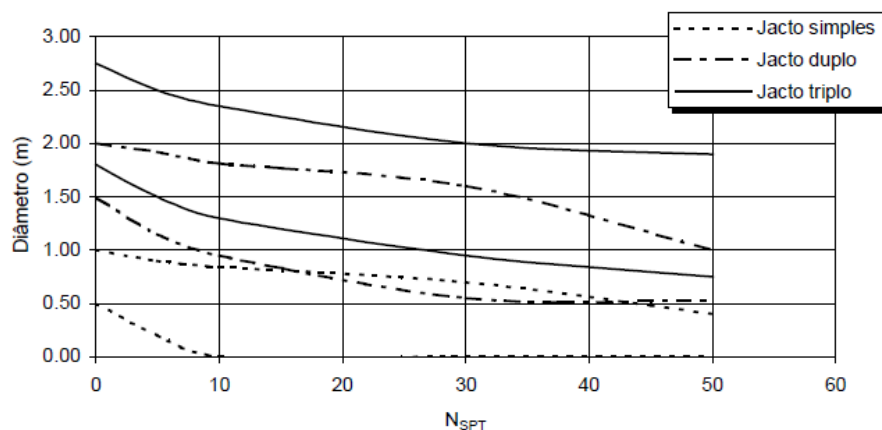


Fig. 58 - Condições de cada tipo de Jet-Grouting em solos incoerentes – Fonte: Joana Rodrigues Carreto

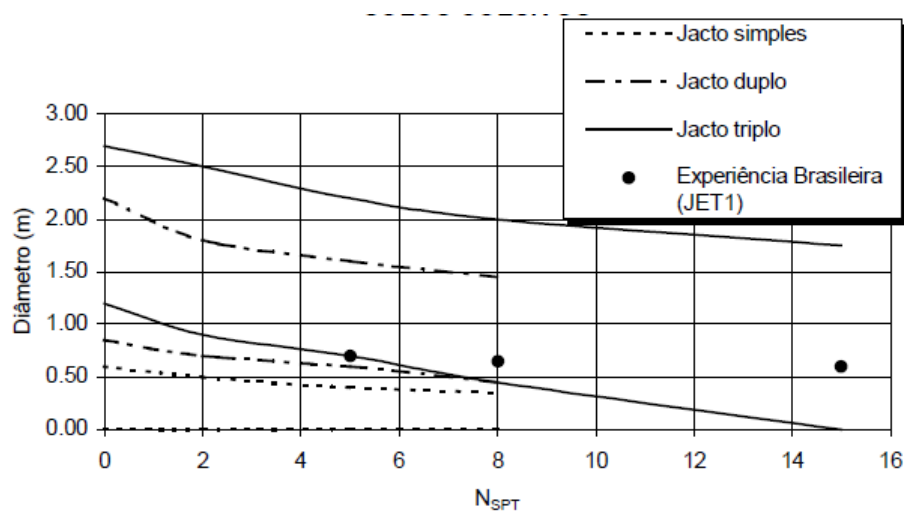


Fig. 59 - Condições de cada tipo de Jet-Grouting em solos coesivos – Fonte: Joana Rodrigues Carreto

Porém, nem só as características do terreno se revestem de importância numa obra de melhoramento das condições de solo. É essencial considerar as características específicas da obra para que se consigam melhores resultados. Como resposta, o método incorpora um conjunto de parâmetros variáveis que podem ser adaptados ao tipo de solo a tratar. Fazer variar esses parâmetros terá implicações na eficiência do processo e na geometria, resistência, deformabilidade e permeabilidade do solo tratado. Alguns dos parâmetros mais comuns aos sistemas são:

- Pressão do fluido aglutinante;
- Caudal do fluido aglutinante;
- Número de bicos de injeção;
- Relação água/cimento do fluido aglutinante;
- Velocidade de subida da vara;
- Velocidade de rotação da vara.

Os sistemas duplo e triplo têm, como esperado, parâmetros específicos como a pressão e caudal do ar comprimido (sistema Jet Duplo) ou ainda pressão e caudal do fluido (sistema Jet Triplo).

Refira-se que estes parâmetros são alvo de análise numa fase anterior à obra com base em sondagens e colunas de ensaio realizadas em condições idênticas às das colunas definitivas.

Com a definição dos seus parâmetros, pode dar-se início ao processo construtivo que se encontra dividido em três fases distintas:

- Corte – o jacto (ou mais) horizontal de grande velocidade quebra a estrutura inicial do solo e dispersa os fragmentos
- Mistura e substituição parcial – parte das partículas é substituída e a restante é misturada com calda injectada
- Cimentação – as partículas de solo são aglutinadas entre si por acção da calda formando um corpo consolidado.

O processo tem início com o nivelamento da sonda fazendo coincidir o eixo da vara que a contém com o eixo da coluna. Logo após, introduz-se a vara no terreno com o auxílio de um jacto de água vertical até atingir-se a profundidade inferior do tratamento. Quando atingida, pára-se o jacto de água vertical.

A etapa que se segue varia consoante a geometria pretendida. Assim sendo, caso se pretenda obter o melhoramento de uma geometria cilíndrica do terreno, imprime-se um movimento rotacional constante à vara enquanto se bombeia calda pelo seu interior e se faz penetrar no solo decomposto. Simultaneamente a vara vai sendo elevada a uma velocidade igualmente constante. Quando toda a vara se encontra fora do furo, procede-se ao enchimento do furo com calda por gravidade.

Caso se pretenda uma configuração em painel de geometria plana, o processo é em tudo idêntico com excepção ao movimento rotacional que neste caso é inexistente.

No caso de reforços contínuos de terreno, deve alternar-se as zonas de reforço do solo como se mostra no último esquema da figura seguinte:

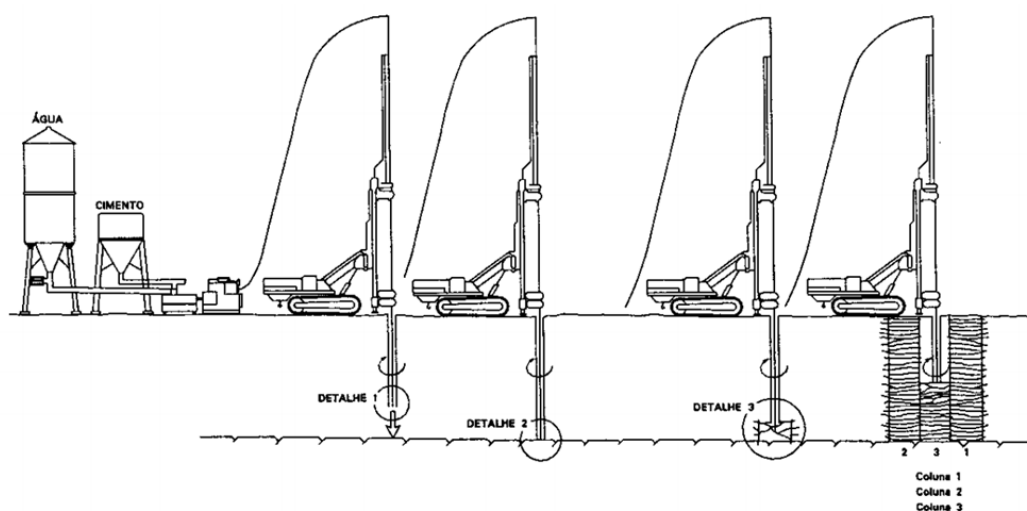


Fig. 60 - Fases do Jet-Grouting – Fonte: Joana Rodrigues Carreto

São várias as aplicações da técnica de jet grouting. É uma técnica particularmente ponderada em situações de túneis em zonas urbanas, construção de estruturas em zonas densamente habitadas ou reabilitação de edificações em zonas históricas.

Desde a sua origem que se vem verificando uma crescente versatilidade do método, que permite tratar solos muito diferentes e seguir geometrias muito variadas.

Algumas das aplicações do Jet Grouting passíveis de se localizarem em ambiente marítimo:

- Consolidação de solos moles e saturados;
- Construção de lajes com função de contraventamento e/ou impermeabilizações;
- Contenções laterais de escavações com necessidade de funcionamento como cortinas de estanquidade;
- Reforço de fundações como pilares de pontes ou edifícios;
- Execução de cortinas de estanquidade;
- Estabilização de maciços potencialmente instáveis.

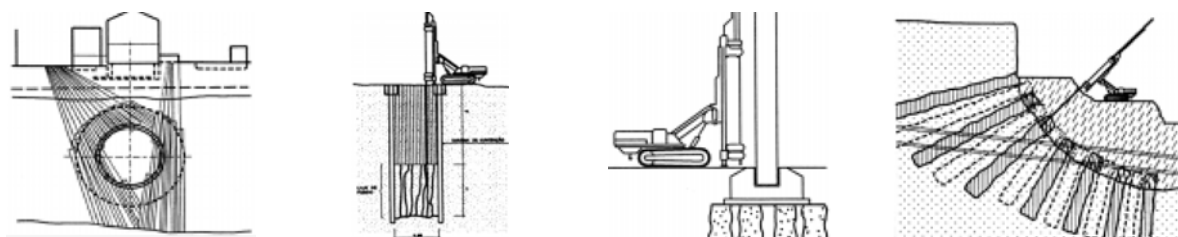


Fig. 61 - Exemplos de aplicação da técnica do Jet Grouting – Fonte: Joana Rodrigues Carreto

O principal obstáculo do método prende-se com a dificuldade de prever com exactidão o resultado final uma vez que o método substitui parcialmente (e não totalmente) o solo o que dá origem a um material heterogéneo e com características de difícil controlo rigoroso.

Para além disso, o facto de se tratar de um método caracterizado com grandes energias torna a técnica por vezes proibida quando existem na zona estruturas que poderão sofrer assentamentos e mesmo rotura. Disso é exemplo a utilização desta técnica na Doca nº4 do Porto de Leixões onde se observou assentamentos significativos e necessidade de obras de emergência.

4.3.2. PAREDES DE BETÃO MOLDADAS NO SOLO

Técnica usada pela primeira vez na década de 50 (com base em experiências com “lamas” realizadas décadas antes na perfuração de poços petrolíferos) que consiste na construção de elementos de betão armado “in situ” através da escavação de valas profundas sem necessidade de entivação.

Baseia-se essencialmente nos efeitos estabilizadores de certos tipos de argilas que, quando colocados em suspensão na cavidade escavada, originam pressões que impedem o terreno vizinho de entrar em rotura:

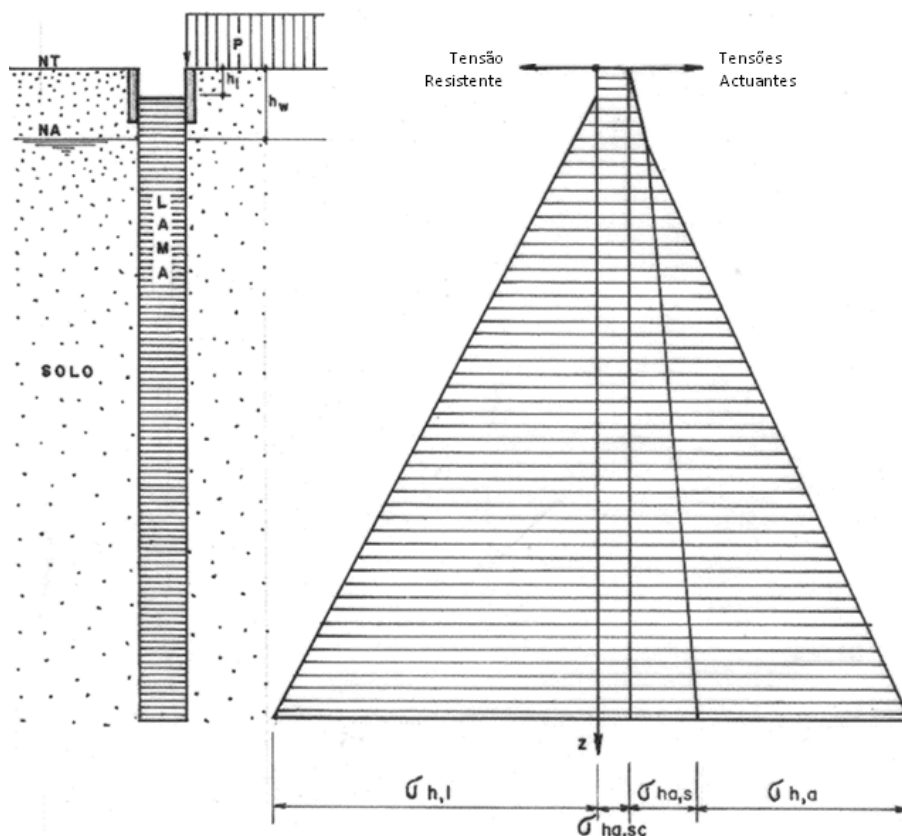


Fig. 62 - Tensões actuantes e resistentes

Logo nas primeiras utilizações desta técnica, a principal preocupação era a de encontrar a melhor constituição da lama que iria “suportar” as paredes laterais da cavidade. Começaram por recorrer a materiais argilosos existentes nas imediações dos trabalhos e a estudar o seu comportamento comparando-o com outras argilas já utilizadas. Em 1929, Cross e Harth decidem patentear a Bentonite, uma argila com características apropriadas a esta função, que se generalizou por todo o mundo.

Esta argila, resultante da alteração de cinzas vulcânicas em meio húmido, é um material cristalino formado por partículas lamelares de dimensões muito reduzidas, caracterizada pela existência de cargas eléctricas negativas não equilibradas nas suas superfícies. Estas duas características criam condições para que ocorra a adsorção de catiões do terreno por parte dos aniões da lama sem que as partículas do solo consigam penetrar na fina estrutura da lama. Tal permite que o terreno não se misture demasiado com a lama contribuindo para estabilidade do conjunto.

Outra característica das lamas é o aparecimento de uma fina camada praticamente estanque na ligação lama/terreno – o designado “cake”. Sobre esta exerce-se a pressão hidrostática da lama o que garante a segurança da obra.

Apesar de existirem condicionantes específicas de cada obra, podem distinguir-se as seguintes fases na construção de uma parede moldada no solo:

- i. Construção dos “Muros-Guia” (1);
- ii. Montagem do sistema de preparação, distribuição e de eventual recuperação da calda de Bentonite;
- iii. Escavação (2);

- iv. Colocação dos tubos-junta;
- v. Colocação da armadura (3);
- vi. Betonagem (4).

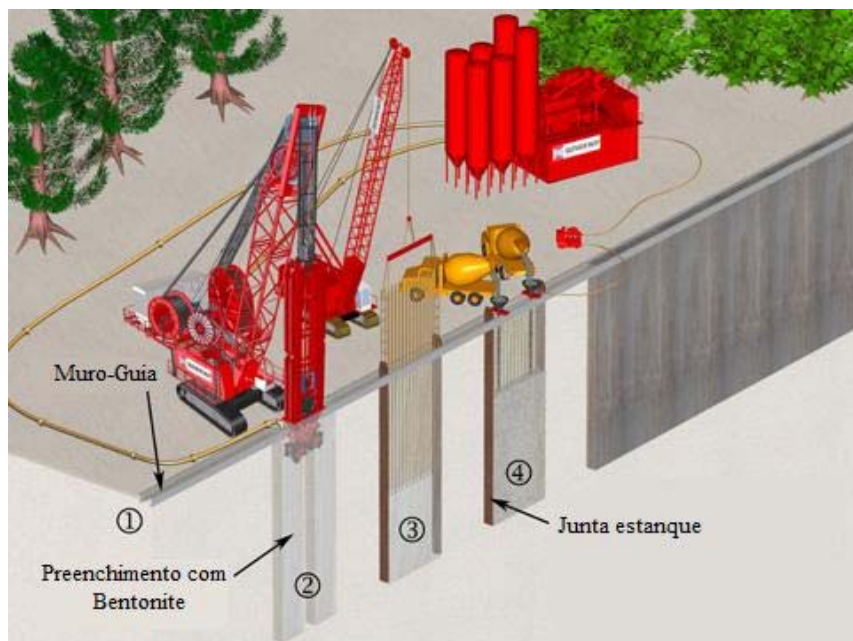


Fig. 63 - Fases de execução de uma parede moldada – Fonte: Soletanche-Bachy

Após marcação no terreno do perímetro da parede, começa-se por realizar a escavação de uma pequena vala de pouca profundidade e largura equivalente à largura da futura parede moldada adicionada da largura de dois muros-guia de betão armado.

Esses muros-guia terão não só a função de orientar a escavação garantindo a sua verticalidade, mas também irão permitir um melhor aproveitamento da lama bentonítica e garantir alguma estabilidade no topo da escavação melhorando as condições de trabalho nesse local.

A altura destes muros deverá impedir que a lama bentonítica transborde e que o terreno escavado entre em contacto com o ar:

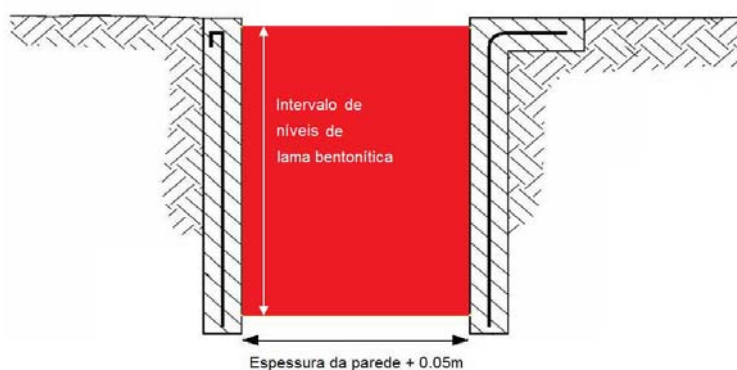


Fig. 64 - Muros-Guia

Terminada a execução dos muros-guia, dá-se início à fase correspondente à escavação da cavidade na qual se executará a parede moldada. É precisamente nesta fase que a lama assume principal importância porque depende dela uma escavação em boas condições, desempenhando várias funções:

- Suporte de escavação;
- Permanecer na escavação sem que se verifiquem constantes perdas para o solo;
- Manter os detritos de escavação em suspensão para que estes não se acumulem no fundo da escavação;
- Permitir fácil substituição pelo betão sem que se formem zonas de lama no interior do betão;
- Permitir retirar detritos de escavação tornando possível a sua reutilização;
- Ser de fácil bombagem.

Por existirem funções contraditórias entre si, a escolha da solução de lama a adoptar será necessariamente específica para as características de cada obra. De isso é exemplo a maior densidade das lamas, que oferecendo vantagens na sua função de sustentação acaba por prejudicar a bombagem.

Dada a importância da lama é indispensável a realização constante de ensaios e estudos laboratoriais que atestem a adequabilidade das argilas para a obra em causa. Estes serão ainda mais importantes no caso de serem usadas manchas de empréstimo que nunca haviam sido usadas para outras obras.

As características que deverão ser seguidas com especial interesse são:

- Peso volúmico;
- Viscosidade;
- Resistência do gel;
- pH;
- Percentagem de areia.

Para que sejam garantidas tais características dentro de certos intervalos de tolerância, é necessário que a lama esteja em constante circulação e movimento. Para tal deverá existir um sistema composto por tanques de preparação com agitadores, bombas e tanques para recuperação da bentonite (com reflexo positivo nos sectores económico e ambiental). A constante agitação impedirá a argila de formar estruturas que iram prejudicar a própria escavação. O caudal de bombagem de bentonite é dependente da velocidade da escavação que por sua vez depende das características da obra e será tal que garanta um nível de lama bentonítica aproximadamente constante.

Nesta fase de construção, conhecidas as dimensões da parede moldada, procede-se à escavação da cavidade que irá conter a futura estrutura de contenção de terras. Refira-se apenas que as principais bases de dimensionamento são as características do terreno, a função da parede e os equipamentos existentes (o facto de ser um equipamento caro impede a adopção de uma gama contínua de valores especialmente para a espessura da parede). Habitualmente executam-se paredes moldadas com cerca de 60/80cm de espessura, não sendo aconselhável que esta ultrapasse os 150cm (equipamentos demasiado pesados) nem deverá ter espessura inferior a 50cm (garantindo boas condições para colocação de armadura e betonagem).

Sendo uma construção em painéis, assume especial importância a definição do seu comprimento. Se por um lado uma dimensão superior de cada painel reduz a quantidade de juntas (com vantagens económicas e menor risco de ocorrência de deficiências de execução) esta opção limita a contribuição do efeito de arco do painel para a estabilidade da estrutura e pode igualmente conduzir a um elevado volume de betão e consequentemente uma longa fase de betonagem. Pelos factores apresentados, não é habitual que o comprimento de cada painel ultrapasse os 2,50m.

Para a realização desta fase de construção podem distinguir-se dois tipos de equipamentos de escavação: por circulação e por baldes.

Os equipamentos de escavação por circulação recorrem a um mecanismo que desagrega o solo e este acaba por se misturar com a lama bentonítica. Esta é obrigada a circular por um sistema que contém um tanque de recuperação onde se extrai o produto da escavação. Distinguem-se dois mecanismos diferentes: aplainamento (o mecanismo desagrega em camadas horizontais) e furação à vara (a desagregação desenrola-se em trechos verticais).

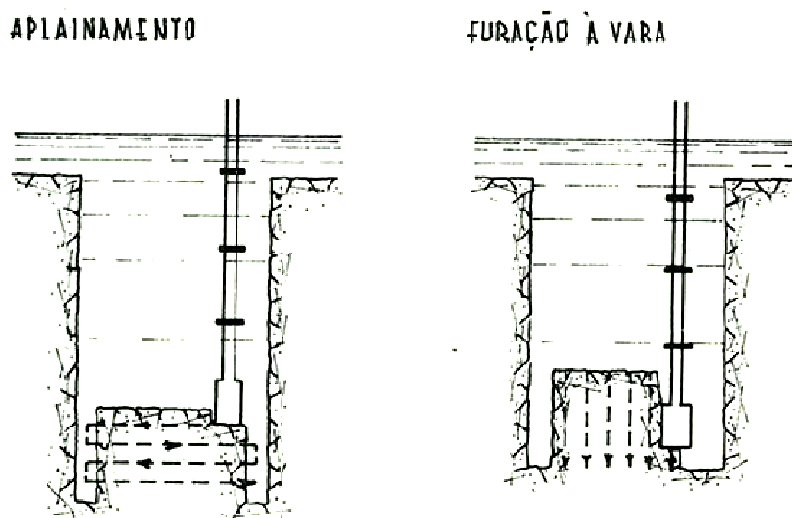


Fig. 65 - Escavação por circulação – Fonte: F. Guedes de Melo

Para a realização da escavação por balde existe uma vasta gama de equipamento com diferenças variadas como geometria dos baldes, peso, sistema de suspensão e de manutenção de verticalidade e do tipo de comando. A escolha por um determinado equipamento dependerá necessariamente das características do solo e da parede que se pretende materializar.



Fig. 66 - Equipamentos de escavação por balde – Fonte: Soilmec

Concluída a escavação, procede-se à colocação da armadura previamente montada numa outra zona do estaleiro. Com auxílio de uma grua suspende-se a armadura em posição vertical e lentamente faz-se descê-la.

Segue-se a fase de betonagem que se inicia com a colocação de um tubo com tremonha. Este tubo permite que o betão seja lançado directamente para o fundo da cavidade sem provocar grande agitação da lama bentonítica. À medida que se larga o betão na cavidade, vai-se aspirando o excesso de lama e vai-se fazendo subir o tubo com tremonha.

A fase de betonagem não deve ser demasiado longa devendo estar concluída num período máximo de 3 a 4 horas.

Como referido anteriormente, esta técnica construtiva caracteriza-se por ser realizada por painéis justapostos que naturalmente implicam a existência de juntas entre eles. Visando reduzir significativamente os inconvenientes que essas juntas poderão trazer para a estabilidade e estanquidade da obra, é prática corrente recorrer a tubos-junta nos extremos de cada painel, moldando-os e aumentando o perímetro de contacto entre os painéis.

Após a escavação colocam-se os tubos nos extremos do painel servindo de molde para betonagem. Após presa do betão, esses tubos podem ser retirados e pode executar-se o painel justaposto. Quando este for betonado irá originar-se uma junta entre painéis semi-cilíndrica.

A execução dos vários painéis pode seguir dois tipos de ordem: continuamente ou alternadamente.

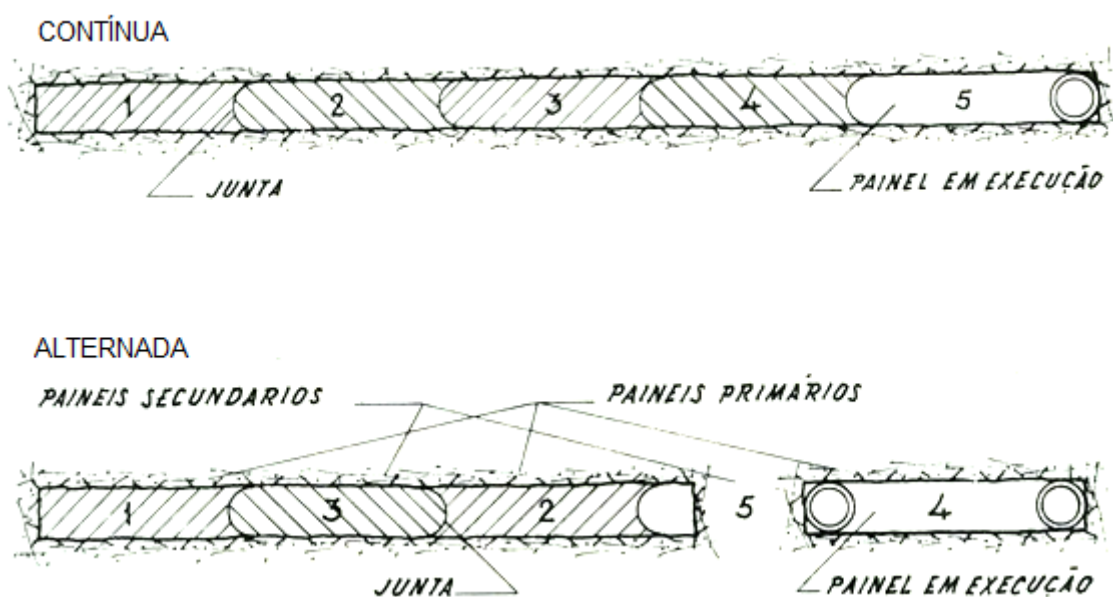


Fig. 67 - Ordem de execução das paredes moldadas (Contínua e Alternada) – Fonte: F. Guedes de Melo

Como se observa na figura, a execução alternada obriga à utilização de dois tubos-junta.

As paredes moldadas têm vindo a adquirir uma importância capital especialmente quando existe necessidade de satisfazer uma ou mais das seguintes funções:

- Fins de resistência – como o suporte de terraplino num cais acostável;
- Fins de estanquidade – como em cortinas de estanquidade de barragens;
- Fundação de estruturas.

Este método apresenta variadas potencialidades:

- Execução de elementos e fundação sem grandes descompressões e deformações dos terrenos vizinhos;
- Pouco ruído e vibração durante a construção quando comparada com outras soluções;
- Grande versatilidade permitindo ser adoptada em praticamente todo o tipo de solos desde que garantidas determinadas precauções;
- Permite atingir grandes profundidades;
- Grande maleabilidade na programação das obras (execução por painéis isolados);
- Capacidade para satisfazer várias funções simultaneamente;
- Bom comportamento das paredes já realizadas;
- Escavação rápida e eficiente sem necessidade de escoramento ou entivação.

Porém, a técnica apresenta igualmente algumas limitações:

- Transportes muito dispendiosos;
- Necessidade de maquinaria muito pesada;
- Em solos soltos a lama bentonítica escapa-se entre os vazios impossibilitando o aparecimento do “cake”;
- Dependência de lama bentonítica de qualidade;
- Necessidade de conhecer bem as características do terreno.

4.3.3. ESTACAS-PRANCHA METÁLICAS

Esta técnica consiste na utilização de perfis metálicos recuperáveis pouco rígidos e geralmente ancorados/escoradas. Quando usados em cais acostáveis, estes são cravados no terreno e têm a função de suportar a parte superior do terraplino e impedir que o solo do mesmo se dissipe para o meio líquido.

Por volta de 1900, estacas-prancha de madeira e ferro fundido eram já usadas mas só no início do século XX, com o desenvolvimento da técnica da laminação se começou a explorar a tecnologia da forma como hoje é conhecida.

Actualmente cerca de dois milhões de toneladas de aço são consumidos anualmente para a produção de estacas-prancha.

Apesar da simplicidade que se reconhece no processo construtivo, este deve ser devidamente controlado e fiscalizado para que se garanta a correcta execução, a verticalidade e o alinhamento da cortina.

Distinguem-se três métodos de execução de cortinas de estacas-prancha consoante a ficha da estaca e as características do solo:

- Cravação individual - Em terrenos aluvionares e para fichas inferiores a 10m, a estaca prancha é cravada de uma soa vez sendo guiada pela junta da estaca-prancha precedente;

- Cravação em duas fases - Em terrenos aluvionares e para fichas de 15m, a cravação é executada guiando a estaca-prancha por contraventamento de dois níveis e numa fase posterior processa-se a restante cravação;
- Cravação por painéis – Cravação em degrau de seis a dez estacas de cada vez.

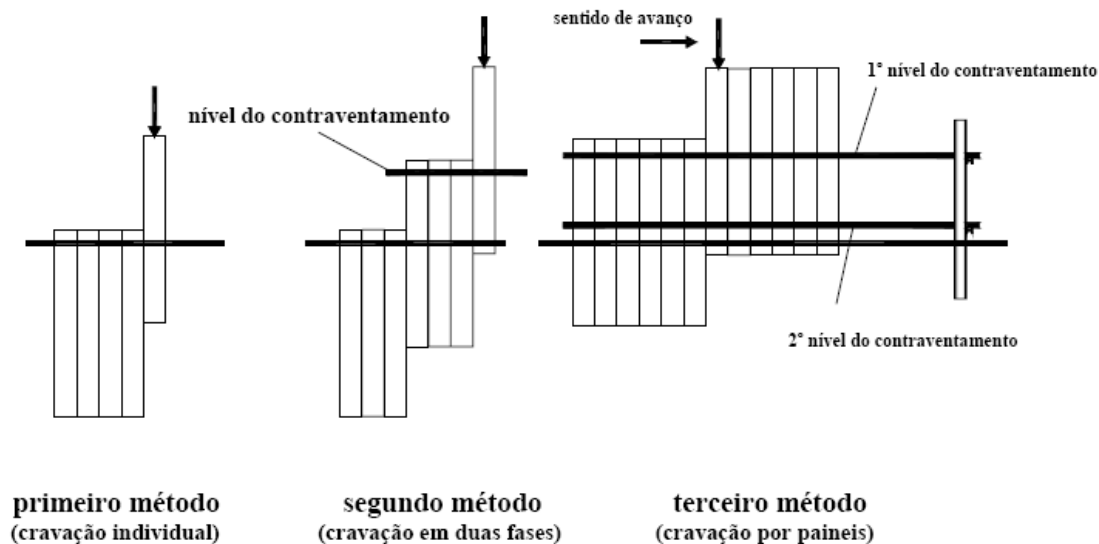


Fig. 68 - Esquema de cravação de Estacas-Prancha – Fonte: Martins e Aguiar, 2005

O processo de cravação pode ser executado por três equipamentos com funcionamentos distintos:

- Injecção – Em solos incoerentes finos; Consiste em injetar água na base da estaca auxiliando a penetração da estaca-prancha no solo;
- Percussão – Aconselhado para a grande maioria dos solos com excepção de solos de grande dureza; São usados martelos-pilões com massas entre os 300kg e 1500kg com um metro de altura de queda;
- Vibração – Adequada para solos granulares; Este sistema não só permite uma penetração mais fácil como melhora as condições do solo granular após cravação da estaca-prancha.

As características do equipamento são características do comprimento das estacas e do tipo de terreno.

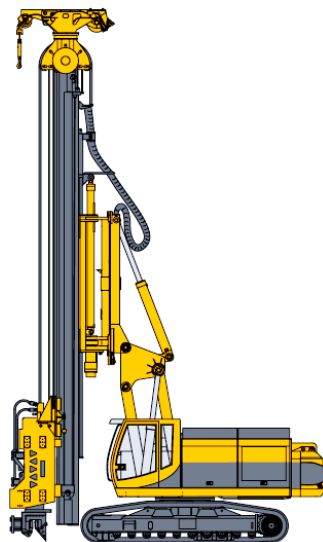


Fig. 69 - Equipamento de cravação de Estacas-Prancha – Fonte: Soilmec

Esta solução é extremamente versátil permitindo o seu recurso em casos variados como contenção de terras, fundação de estruturas, contenções provisórias e principalmente obras marítimas e portuárias.

De entre as potencialidades do método, merecem destaque as seguintes:

- A sua versatilidade permite que cumpra funções muito variadas;
- O seu processo construtivo não é muito afectado pela posição do nível freático;
- Não exige mão-de-obra e equipamento muito especializados;
- Não é muito exigente em termos de espaço;
- Quando usadas em situações provisórias, é possível a sua recuperação.

Por outro lado, o método apresenta algumas limitações, em particular:

- Preço elevado quando comparado com o de outras técnicas com funções similares;
- Exige equipamento específico e pesado para a cravação das estacas-prancha;
- Provocam, geralmente, muito ruído e vibração;
- Exigem soluções de protecção para aumentar a sua durabilidade;
- As estacas-prancha são relativamente frágeis na fase de construção.

Uma estrutura executada em aço, em especial quando é instalada em ambiente marítimo, tem como principal condicionante a sua durabilidade.

Por esse motivo, várias são as técnicas usadas e desenvolvidas que procuram reduzir a velocidade de degradação desses elementos:

- Protecção catódica por ânodos sacrificiais;
- Protecção catódica por corrente imposta;
- Protecção com camada de material polimérico e compósito (PIANC Working Group 105, 2009);
- Sobredimensionamento de espessura – prevendo-se a perda de espessura provocada pela erosão e somando-se esta à que resulta do dimensionamento estrutural.

4.3.4. ANCORAGENS NO TARDOZ

Dá-se o nome de ancoragem, a um elemento estrutural que transmite uma força de tracção de uma estrutura principal a uma zona de terreno adjacente, mobilizando a resistência ao corte desse terreno.

A sua constituição resume-se a uma armadura (que é geralmente um cabo de pré-esforço) envolvida em calda de cimento ou outro agente fixador que garanta a sua impermeabilidade. A sua fixação materializa-se do lado da estrutura por uma cabeça metálica de ancoragem e no terreno através da sua cravação envolvida em calda de cimento num comprimento de amarração.

No caso das obras portuárias, este tipo de tecnologia tem sido usada principalmente para o incremento de segurança em obras de suporte de terras.

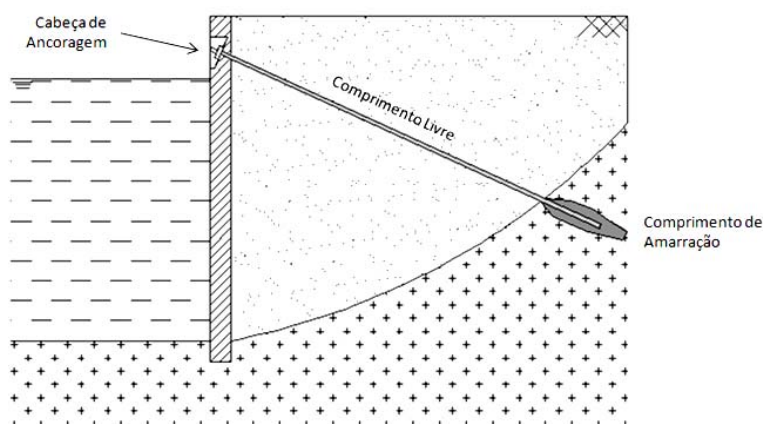


Fig. 70 - As ancoragens permitem um incremento de resistência em estruturas de contenção de solos

Podem distinguir-se quatro tipos de ancoragem usados para estruturas de suporte de terras:

- Sistemas compostos por uma cabeça de ancoragem, um comprimento livre e um comprimento fixo de ancoragem, estabelecido por injeção de calda;
- Sistemas compostos por uma cabeça de ancoragem e um comprimento fixo, mas sem um comprimento livre – pregagens;
- Sistemas compostos por uma cabeça de ancoragem, um comprimento livre e uma placa ou elemento similar de aço ou betão armado;
- Sistemas compostos por um elemento helicoidal introduzido no terreno por rotação e um encabeçamento.

A sua execução é simples, apesar de envolver equipamentos especiais:

- Furação da cavidade da ancoragem;
- Preparação e colocação das armaduras de pré-esforço;
- Amarração das armaduras de pré-esforço;
- Esticamento das armaduras de pré-esforço;
- Preenchimento da cavidade com a calda de cimento ou outro material fixante.

A sua facilidade de execução e o facto de ser uma solução que envolve poucos equipamentos e é pouco intrusiva torna esta solução recorrentemente utilizada neste tipo de obras.

Por outro lado, as preocupações com a corrosão que impõe, impede que seja impossível a sua utilização em ambientes muito agressivos ou obriga a grande reforço nas medidas anti-corrosão. Para além disso, existem relatos de grandes assentamentos sofridos após execução deste tipo de obra. Caso disso ocorreu no Cais Polivalente de Leixões (Doca nº2 Norte) quando não estava previsto em projecto.

4.4. SOLUÇÕES DE APROFUNDAMENTO EXECUTADAS EM PORTOS INTERNACIONAIS

Em qualquer obra de engenharia civil, as experiências anteriores constituem-se como elementos fundamentais para a procura da solução que ofereça um maior conjunto de vantagens.

Dada a falta de obras semelhantes a nível interno e a procura de soluções diferentes, realizou-se uma pesquisa internacional cujo resultado se apresenta em anexo sob forma de fichas de estudo dos casos semelhantes encontrados.

Nessas fichas apresentam-se várias informações relevantes para a caracterização de cada solução adoptada:

- Descrição geral do cais com informações sobre a sua área, extensão, profundidades, marés e função;
- Descrição da localização do porto onde se situa o cais;
- Caracterização da estrutura existente;
- Apresentação dos objectivos que fundaram a decisão de reforço/aprofundamento do cais;
- Caracterização da mesma estrutura após conclusão das obras;
- Apresentação dos perfis inicial e final;
- Informações sobre o intervalo temporal.

Da pesquisa efectuada constatou-se a existência de várias obras que se podem agrupar em cinco soluções-tipo:

- Avanço da parte frontal do cais;
- Ancoragem no tardoz;
- Construção de uma nova estrutura aderente;
- Reforço da fundação;
- Soluções mistas.

A maior parte das intervenções envolve soluções mistas significando que se pretende potenciar os aspectos positivos de cada solução, minimizando os negativos.

Na tabela 2 apresenta-se uma síntese das soluções estruturais associadas a cada cais e porto referidos nas fichas do Anexo 1.

Tabela 2 - Soluções adoptadas em outras obras de reforço/aprofundamento de cais

Solução estrutural	Cais (Portos)
Avanço	Muro-cais de Alcântara (Porto de Lisboa)
	Eurogate (Porto de Hamburgo)
	Cais de Garibaldi (Porto de La Spezia)
	Terminal multiusos (Porto de Leixões)

Ancoragem no tardo	Terminal de Dooley (Porto de Felixstowe)
	Terminal de Ladguard (Porto de Felixstowe)
	Eurogate (Porto de Hamburgo)
	Cais 65 e 66 (Porto de Kaohsiung)
	Cais de Garibaldi (Porto de La Spezia)
	Terminal Howland Hook (Porto Newark/Elizabeth)
Nova estrutura aderente	Doca nº4 (Porto de Leixões)
	Terminal de contentores (Porto de Mersin)
	Terminal Contentores (Porto Newark/Elizabeth)
Reforço da fundação	Cais 65 e 66 (Porto de Kaohsiung)
	Terminal de graneis (Porto de Santos)
	Terminal 5 (Porto de Seattle)
	Cais 36 (Porto de Seattle)
	Terminal Howland Hook (Porto Newark/Elizabeth)

A existência de cais com duas ou mais soluções indica a presença de uma solução mista.

4.5. SOLUÇÕES DE REFORÇO EXECUTADAS NO PORTO DE LEIXÕES

Desde os anos setenta que o Porto de Leixões sentiu necessidade de prever obras de melhoramento dos seus cais acostáveis. Em certos casos o objectivo era apenas reabilitar ou conferir novas funções aos cais, mas casos houve em que o objectivo foi alterar as configurações dos cais tendo em vista permitir que se recebesse navios de maior calado.

Assim aconteceu um pouco por todo o porto ao longo da sua história:

- 1973 a 1974 – Reparação dos muros-cais em arcadas da Doca nº1;
- 1995 a 1997 – Reabilitação de 300m da Doca Nº2 Norte;
- 2000 a 2002 – Reabilitação de um troço com 110m do Cais Sul e Cais Nascente da Doca Nº4;
- 2000 a 2003 – Reabilitação e reforço de parte do cais sul da Doca Nº1;
- 2007 a 2008 – Construção do Terminal Multiusos.

A história de obras significativas de reabilitação iniciou-se entre 1973 e 1974. Após quase 40 anos ao serviço, parte da Doca nº1 sofre obras de reparação que visam substituir o original cais em arcadas que havia apresentado sinais de ruína anos antes. A escolha da solução recaiu sobre a cravação na rocha de uma cortina de estacas-prancha atirantada. O espaço entre esta cortina e o antigo cais em arcadas foi preenchido com material granular e o resultado é o que se havia apresentado na Fig. 50.

Esta obra permitiu não só a recuperação e reabilitação do cais como também um aumento da área de terrapleno com o avanço de 10 a 15m.

Sensivelmente vinte anos depois, surge a necessidade de reabilitar cerca de 300m da Doca nº2. Em 1995, praticamente 30 anos após entrada em funcionamento do cais que delimita a norte essa doca, verificam-se “insuportáveis deslocamentos da viga de coroamento, fendas na estrutura e assentamentos no terrapleno” que precipitaram o seu encerramento para as necessárias obras de estabilização e reforço (Fonte: Brogueira Dias).

Construído inicialmente com configuração tipo-Dinamarquês, a estrutura do cais é alterada com a execução de estacas moldadas no solo com 1m de diâmetro que passam a suportar a superestrutura apresentando-se actualmente com o esquema representado na Fig. 53 a).

Apesar do objectivo da obra ser essencialmente a recuperação do cais conferindo-lhe a segurança que não apresentava, a configuração final permite abordar um possível aprofundamento com maior facilidade. Na realidade, o aprofundamento de cais existentes encontra, geralmente, como principal impedimento a segurança da estrutura existente.

Ainda assim, zonas houve onde se estabeleceram novos fundos a -12m (Z.H.L.) resultantes de 1m de aprofundamento.

Esta obra marcou o início de intensa actividade no Porto de Leixões com perspectivas de aumentar a competitividade e a fiabilidade do porto. Foi, por isso, sem surpresa que outras obras de reabilitação surgiram na década seguinte.

Entre 2000 e 2003 decorreram grandes obras de recuperação de cais, nomeadamente na Doca nº4 e Doca nº1.

As obras executadas na Doca nº4 tinham dois objectivos distintos:

- Permitir a dragagem do interior da doca para a cota -12m (Z.H.L.);
- Regularizar o troço terminal do Rio Leça.

A dragagem do interior da doca pressupunha, porém, estudar a estabilidade dos cais existentes e, caso fosse necessário, levar a cabo alterações na estrutura que garantissem a mesma.

Foi precisamente a estabilidade o grande inconveniente desta obra. A estrutura existente, composta por uma cortina de estacas-prancha metálicas cravadas e estacas verticais e diagonais que suportavam a superestrutura, não garantiam a segurança necessária após instalação de novos pórticos no cais sul e obrigaram ao estudo e execução de um reforço. A solução encontrada foi a ancoragem do tardoz resultando no perfil transversal representado na figura seguinte:

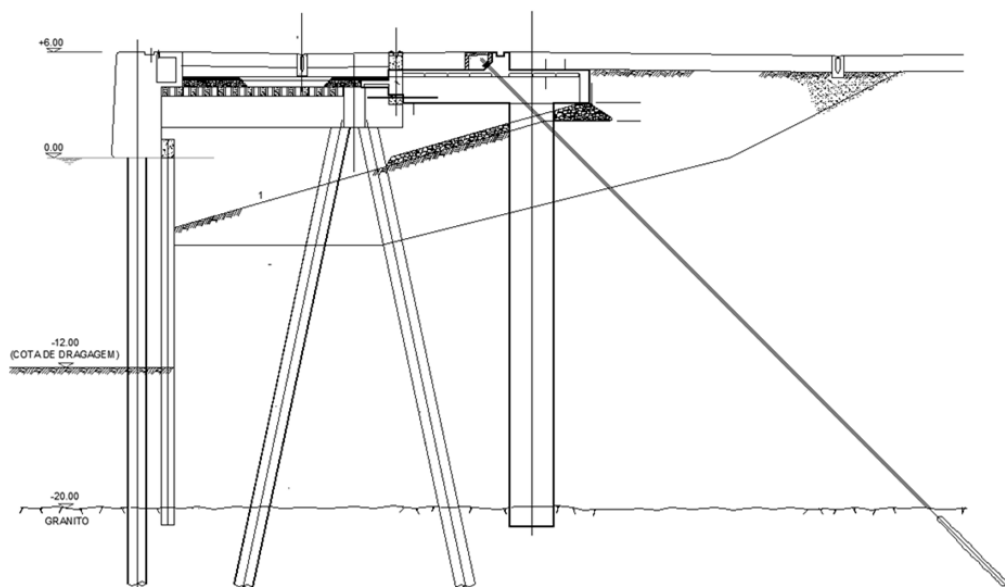


Fig. 71 - Perfil Transversal actual da Doca nº4 Sul – Fonte: APDL

A obra permitiu um aumento de profundidade para os actuais -12m (Z.H.L.) partindo dos iniciais -10m e -11m (Z.H.L.), porém os cais existentes não necessitaram de uma intervenção de fundo uma vez que a estrutura resistente estava já preparada para receber obras de aprofundamento. A instalação de ancoragens permitiu dotar o cais de melhores condições para reagir às acções principalmente dos novos pórticos instalados.

Praticamente em simultâneo, a Doca nº1 sofria novamente obras de reforço e reabilitação de parte do seu cais sul. Vistorias realizadas anteriormente, alertavam para a existência de danos diversos no paramento de acostagem do cais. Havia, para além disso, a vontade do porto instalar novos guindastes que alterariam, necessariamente, as acções que os mesmos provocam sobre a estrutura.

A solução para reabilitar e reforçar o cais recaiu na cravação de uma cortina de estacas-prancha metálicas aderente ao paramento existente e seguras na sua parte superior através de ancoragens, como se constata na Fig. 51.

Esta obra não visava igualmente o aumento de profundidade mas alterou de sobremodo as condições de resistência e estabilidade do cais. Poder-se-á estar perante uma situação em que o efeito estabilizador dos solos presentes na parte inferior do cais é desnecessário para a estabilidade do conjunto e, assim sendo, poder-se-ia retirar essa camada de solo com cerca de 2m o que resultaria no aprofundamento do cais nessa ordem de grandeza.

Recentemente, o Porto de Leixões concluiu a sua última obra de reforço e reabilitação de cais acostáveis. Realizada no âmbito do PEDPL, a construção de um novo Terminal Multiusos decorreu entre os anos de 2007 e 2008 e consistiu na execução de um novo cais gravítico, com recurso aos novos blocos pré-fabricados de betão armado NOREF, localizados com um avanço de sensivelmente 14m em relação ao antigo cais gravítico.

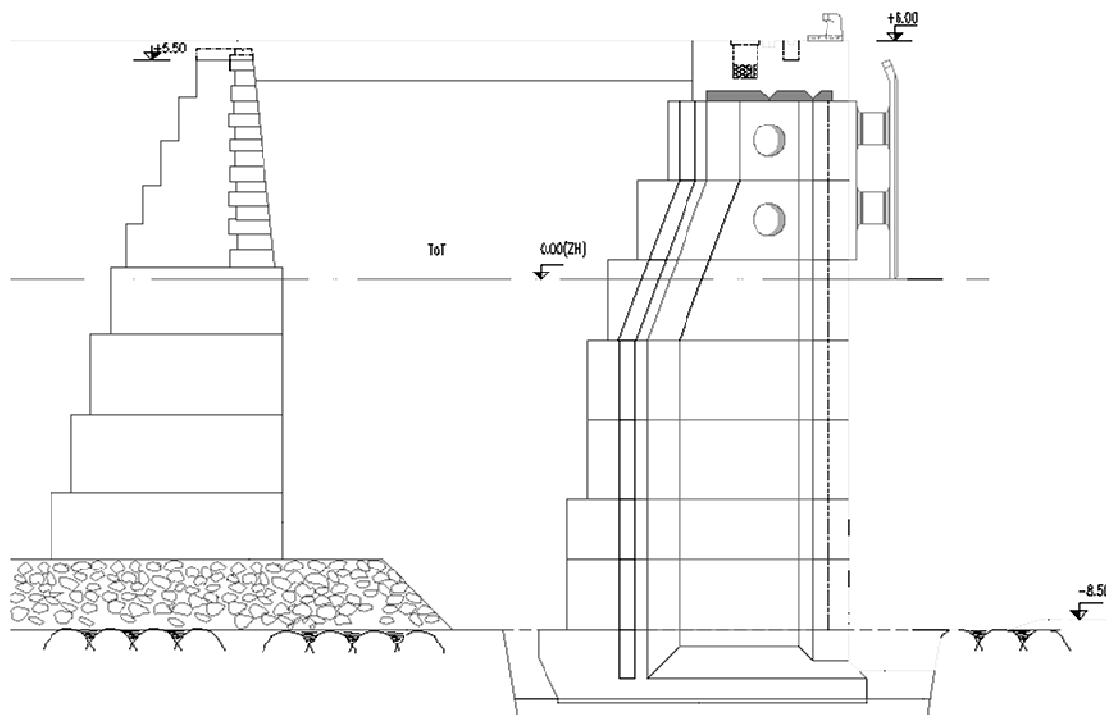


Fig. 72 - Perfil Transversal do novo Terminal Multiusos – Fonte: APDL

Nesta zona do porto a profundidade passou dos -7m (Z.H.L.) para os -8.5m (Z.H.L.).

4.6. ANÁLISE CUSTO/BENEFÍCIO

4.6.1. DEFINIÇÃO E OBJECTIVOS

Uma análise custo/benefício consiste na avaliação de todos os efeitos previsíveis de uma decisão ou de um projecto, para o conjunto de períodos levados em conta na análise. Nela estão incluídos os efeitos (comerciais e não comerciais) assim como todos os grupos potencialmente afectados (directa e indirectamente). O mesmo será dizer que este tipo de estudo procura atribuir um valor económico a todos os custos e benefícios associados ao projecto (incluindo bens intangíveis) e calcular o saldo final resultante.

Como será de esperar, o resultado deste processo deverá sempre conduzir a situações em que os benefícios ultrapassem os custos. Caso contrário, os benefícios resultantes do projecto não justificam os custos que lhe estão associados e a proposta é classificável como ilógica.

A fácil percepção do método torna-o especialmente atractivo, principalmente quando é possível atribuir espontaneamente um valor às variáveis em análise. Quando tal não acontece, como é o caso de existirem variáveis intangíveis, apresenta-se com particular dificuldade a tradução em valor monetário de certos efeitos, sendo essa a principal limitação do método.

Como exemplos de efeitos intangíveis em obras portuárias pode enumerar-se, a título de exemplo, a degradação ou beneficiação da imagem do porto durante e após a obra. Sendo um elemento importante numa obra por vezes “encaixada” na malha urbana das cidades, é de extrema dificuldade quantificar o seu efeito sem que assuma um papel demasiado preponderante nem um papel demasiado passivo.

4.6.2. PROCESSO E CRITÉRIOS INTERVENIENTES

A primeira fase do processo deverá corresponder à identificação de todas as perdas e ganhos inerentes à obra, que deverão ser expressos numa unidade monetária. De salvaguardar que muitos efeitos terão horizontes temporais diversos, sendo por isso de boa prática procurar prever valores futuros por influência da inflação e taxas de juro. Para além disso, é necessário prever ainda nesta fase possíveis apoios ou cobranças especiais que provoquem efeitos sobre os custos e benefícios futuros, como é o caso de subsídios e impostos. Nesta fase deve também procurar-se definir os factores eliminatórios e essenciais do projecto.

À fase seguinte do projecto consiste a função de definir os critérios de selecção. A título meramente ilustrativo pode definir-se um Valor Actualizado Líquido como resultado da divisão entre os benefícios e os custos, sendo validado quando este atingir valores superiores a 1.

Finalmente, a decisão deve ser tomada favoravelmente no caso do critério de selecção ser atingido e ser provado que o projecto representará uma mais-valia importante. Para tal devem prever-se dois cenários:

- Cenário sem projecto – manter a situação actual;
- Cenário com execução do projecto.

Uma obra deverá sempre ter como resultado o claro aumento de benefício. A decisão deverá representar uma significativa alteração das condições existentes e que seriam espectáveis caso a obra não fosse executada.

Para ser levada a cabo uma análise custo/benefício, existem quatro elementos fundamentais:

- Definição de objectivos, identificação do projecto e resultados de estudos de viabilidade;
- Análise financeira;
- Análise económica;
- Análise de sensibilidade e risco.

Para além de bem identificado e bem definidos os objectivos do projecto, devem ser fornecidas provas de que o projecto seleccionado se constitui como uma alternativa viável em várias vertentes: técnica, económica, financeira e riscos.

Para uma correcta análise financeira deve fazer-se um relatório onde constem os indicadores de desempenho financeiro do projecto, tendo em vista:

- Avaliar a rentabilidade financeira do investimento e do capital próprio;
- Determinar a contribuição apropriada de eventuais fundos externos;
- Verificar a sustentabilidade do projecto.

A esse relatório devem ainda ser acrescentados indicadores de desempenho económico como:

- Valor actual líquido económico;
- Taxa de rentabilidade económica;
- Rácio Benefício/Custo.

Por fim, deverá constar do relatório uma análise de sensibilidade e risco:

- Análise de sensibilidade: tem o objectivo de identificar as variáveis críticas do projecto;
- Análise de risco: tem por objectivo calcular o efeito das variáveis críticas nos indicadores financeiros e económicos.

O papel da Análise Custo/Benefício torna-se especialmente importante em situações em que se esperam obter fundos de apoio, devendo apresentar-se junto da entidade que terá esse papel a justificação da obra e a justificação do fundo de apoio (Comissão Europeia, 2006).

4.6.3. PARTICULARIDADES EM OBRAS PORTUÁRIAS

A análise custo/benefício de uma obra portuária assume especial importância por envolver geralmente capitais governamentais. Logo nos objectivos de um determinado projecto se distingue profundamente um projecto que envolve apenas o sector privado de um outro que envolve o sector público.

No caso de portos geridos por autoridades públicas, a preocupação dessa autoridade será a de procurar o menor custo possível para o movimento de mercadorias garantindo a segurança dos utilizadores do porto, quer sejam directos ou indirectos. Por seu lado, uma autoridade privada terá a preocupação de executar um projecto que maximize a relação entre o investimento e o retorno do mesmo.

Neste tipo de obras a análise deve basear-se em períodos nunca inferiores a um ano e deve ter-se em conta que o efeito do melhoramento de um porto reflectir-se-á numa área bastante superior à sua.

Um investimento portuário terá sempre variadas intenções:

- Melhorar o fluxo de navios;
- Aumentar a produtividade;
- Reduzir o curso de espera do navio; o custo de carga e descarga, e naturalmente o custo final do transporte;
- Estimular o desenvolvimento económico;
- Aumentar a actividade económica nas imediações do porto.

Para realizar uma correcta análise custo/benefício envolvendo obras portuárias deverão distinguir-se três grupos de custos:

- Construção;
- Aquisição de equipamentos;
- Outros custos de capital (empréstimos, etc.).

Este conjunto de custos trará, espera-se, benefícios que se estendem muito para além do porto:

- Benefício económico do porto;
- Benefício económico dos utilizadores do porto;
- Benefícios intangíveis.

Refira-se que a influência de uma decisão sobre uma obra portuária poderá afectar uma quantidade de agentes muito para além dos existentes no seu hinterland. Por esse motivo, a análise custo/benefício de obras portuárias resulta, por vezes, em previsões de resultados inferiores aos efectivamente verificados posteriormente.

4.6.4. ANÁLISE CUSTO/BENEFÍCIO DE PROJECTOS DE APROFUNDAMENTO DE CAIS ACOSTÁVEIS

Genericamente, os custos deste tipo de obra enquadram-se nos conjuntos apresentados anteriormente. Porém, existem algumas características especiais que representam custos não verificados em outros trabalhos portuários.

No conjunto de custos distinguem-se os seguintes:

- Preço da obra – valor cobrado pelos diversos intervenientes na fase de estudos, projectos e execuções;
- Custo de manutenção – valor necessário para manutenção da futura obra;
- Perda de receitas – valor de receitas perdidas por inactividade ou afectação da mesma durante o período de execução da obra;
- Aquisição de equipamentos – valor cobrado pela aquisição e colocação de equipamentos mecânicos;
- Impacte ambiental – valor intangível da afectação do meio ambiente com a realização da obra e com a futura actividade do porto;
- Impacte social – valor intangível da afectação da sociedade, em especial da situada nas proximidades do porto, durante as obras e com a futura actividade do porto;
- Impacte económico – valor da afectação da actividade económica durante a execução e após conclusão da obra.

Uma das especificidades deste tipo de obra encontra-se na constatação de que existem custos que podem representar igualmente benefícios.

Dos inúmeros benefícios que poderão estar associados a este intervenção destacam-se os seguintes:

- Aumento da actividade portuária – resulta no acréscimo de receita proveniente do movimento de navios e cargas;
- Aumento da actividade económica – traduz-se na existência de mais clientes;
- Redução do custo de operação – favorecerá o desenvolvimento económico da área de influência do porto;
- Redução do custo total de transporte – aumentará a competitividade do transporte marítimo;
- Custo de manutenção – poderá reduzir-se em casos de custos elevados de manutenção devidos à degradação das estruturas existentes;
- Impacte ambiental – algumas obras prevêm a redução do impacte provocado pelo porto;
- Impacte social – o aumento de actividade económica deverá beneficiar a sociedade da área de influência do porto;

Determinadas obras poderão apresentar outros custos e benefícios provenientes das especificidades que as mesmas apresentam.

5

APROFUNDAMENTO DE CAIS ACOSTÁVEIS DO PORTO DE LEIXÕES

5.1. CARACTERIZAÇÃO DOS CAIS EXISTENTES

O Porto de Leixões, enquanto porto centenário implantado numa zona de intensa actividade económica em constante evolução, conta na sua história com inúmeras mostras de preocupação em acompanhar tal ritmo evolutivo.

Desde as várias obras de ampliação/reabilitação das estruturas existentes até à instalação das mais avançadas tecnologias, é graças aos seus investimentos meticolosos que o porto se situa numa das posições cimeiras de competitividade e fiabilidade.

Apesar de se assistir actualmente a uma grande diversidade de áreas de investimento do porto, a história mostra que os principais investimentos do Porto de Leixões foram dedicados à construção de novas estruturas de acostagem e à recuperação/reabilitação de algumas existentes.

O inicialmente previsto como porto de abrigo situado na foz do Rio Leça foi crescendo em direcção a montante desse curso de água e apresenta actualmente a seguinte configuração:

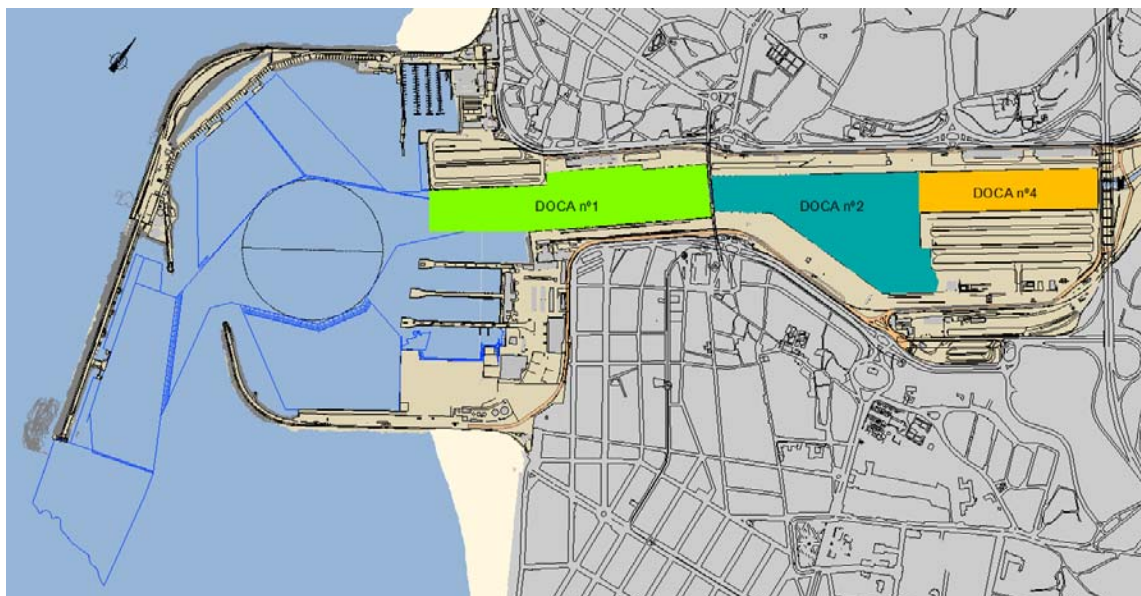


Fig. 73 - Mapa do Porto de Leixões

Distinguem-se duas zonas distintas: o porto interior, que poderá ser interpretado como sendo uma doca de 2000m de comprimento e largura variável, dividida em 3 partes; e o porto exterior, a parte mais antiga do porto, onde existem dois molhes com a função de permitir boas condições de agitação para os navios que lá se situam.

É no porto interior que se situam as principais actividades comerciais do porto, com excepção do terminal de petroleiros. Nesta zona do porto situam-se os terminais responsáveis pelo maior volume de transacções.

Sendo uma zona “ganha” ao Rio Leça, as suas características geológicas são de uma complexidade exigente. Como é habitual na foz dos rios, locais propícios a condições variadas de sedimentação, verifica-se uma significativa heterogeneidade na composição dos solos e na posição do “bed-rock”.

O facto de a zona não ser parca em características geotécnicas influenciou de sobremaneira a solução final para a construção/reabilitação dos cais existentes. As soluções técnicas encontradas foram necessariamente adaptadas às características específicas do local de implantação do cais o que justifica a variedade de soluções que se podem encontrar executadas em Leixões.

Neste ponto desenvolver-se-á uma breve caracterização dos cais existentes no Porto de Leixões onde se propõe o aprofundamento, o que se traduz na análise das condições de solo e de estrutura que se observam actualmente nas Docas nº1 e nº2 do porto interior. A totalidade do porto exterior assim como a Doca nº4 do porto interior não são alvo deste caso de estudo.

Doca nº1

Esta que foi a primeira doca construída no Porto de Leixões é também a mais intervencionada ao longo dos anos.

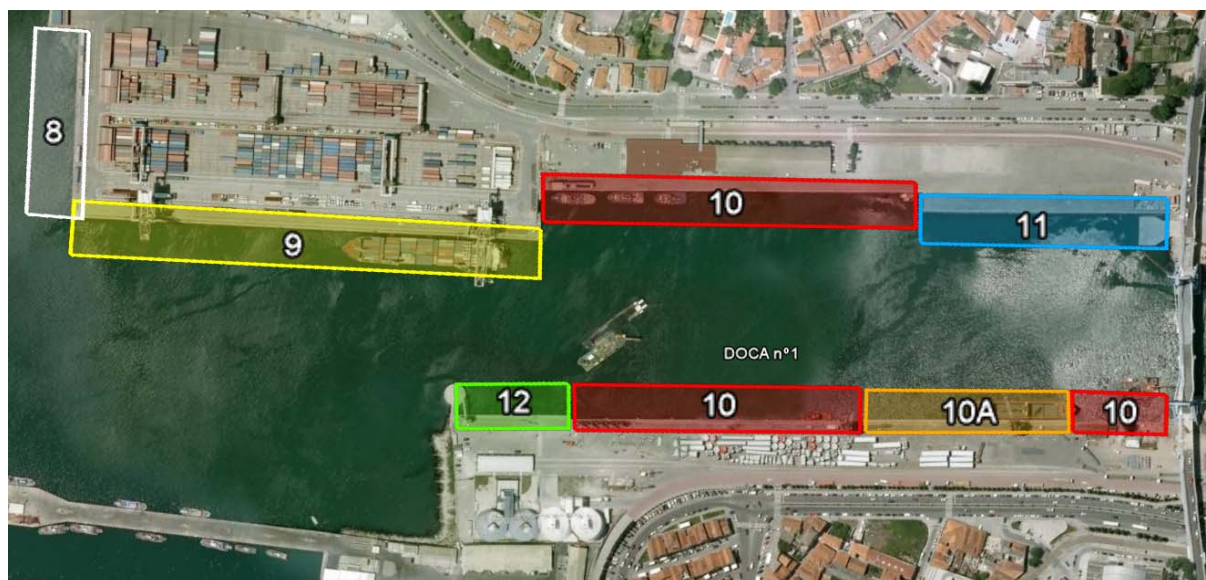


Fig. 74 - Vista aérea da Doca nº1

O facto de ter sido projectada para uma zona onde o Rio Leça se caracterizava pela existência de inúmeros meandros levou a adopção de duas soluções estruturais distintas na tentativa de vencer a heterogeneidade do terreno. Nos locais em que existiam aflorações rochosas a cotas elevadas,

recorreu-se a muros gravidade construídos com alvenaria hidráulica (Documento Eng. Brogueira Dias) enquanto nas restantes zonas a opção recaiu no uso de uma tecnologia que entretanto caiu em desuso (os muros-cais em arcadas).

Com o aparecimento de roturas em algumas zonas dos cais e com a adaptação de parte deles para outros fins, houve uma alteração significativa das características dos cais e actualmente verifica-se a existência de 6 perfis-tipo divididos em 3 soluções estruturais distintas.

No Terminal de Contentores Norte do Porto de Leixões, assim como no Terminal de Passageiros e numa considerável zona do Terminal Polivalente (sul) existem ainda as estruturas originais gravíticas:

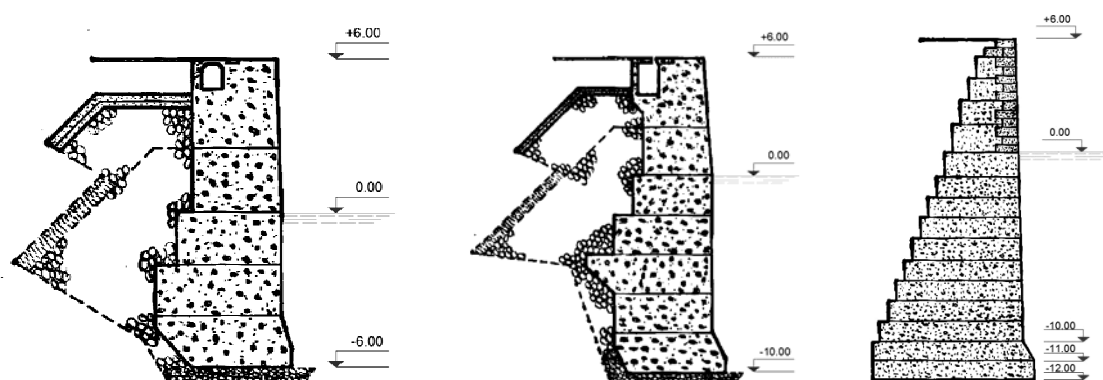


Fig. 75 - Perfis de soluções gravíticas da Doca nº1 (Perfis 8, 9, e 10) – Fonte: APDL

Quanto às zonas originalmente construídas em arcadas, foram entretanto alteradas através da cravação de uma cortina de estacas-prancha com um ligeiro avanço e atirantadas na sua parte superior. Estas obras deveram-se aos sinais de ruína que evidenciavam em 1970. Foi esta a forma encontrada para vencer o afloramento rochoso bastante profundo.

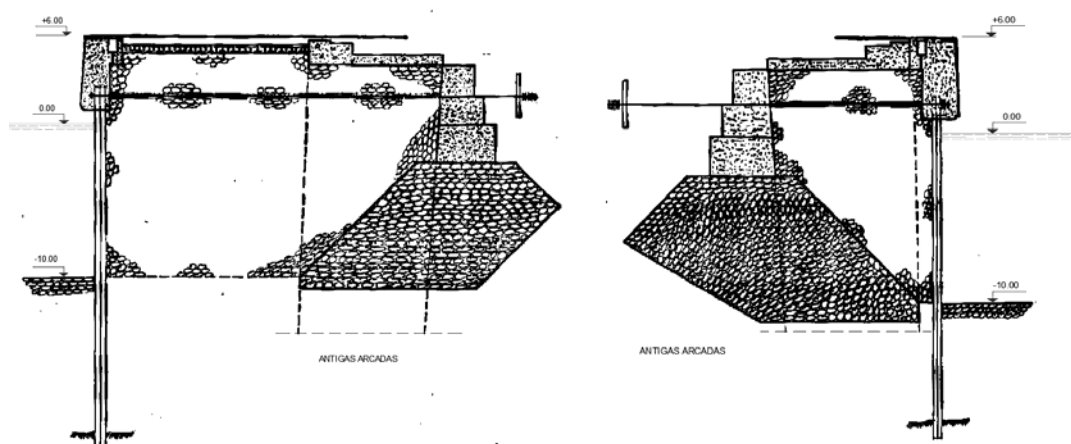


Fig. 76 - Perfis transversais das zonas intervencionadas que tinham muros em arcadas (Perfis 11 e 12) – Fonte: APDL

O aparecimento de danos serviu também de justificação para uma intervenção no Terminal Polivalente, situado a sul da Doca nº1, juntamente com a necessidade surgida de instalação de novos guindastes.

O original cais gravítico foi então reforçado através da cravação de uma cortina de estacas-prancha aderente à estrutura existente e atirantada na sua parte superior.

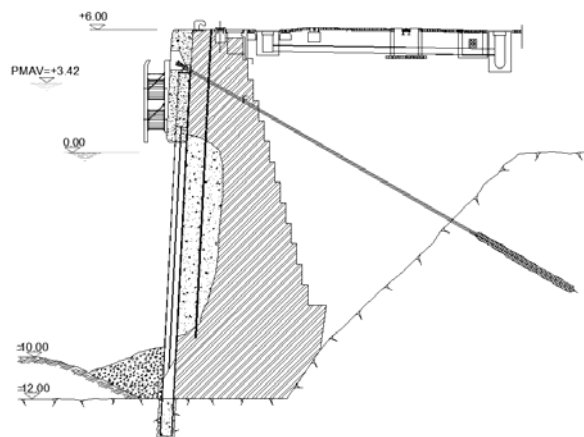


Fig. 77 - Perfil do Terminal Polivalente – Fonte: APDL

Doca nº2

A segunda doca construída no porto apresenta uma configuração que é característica marcante do Porto de Leixões e resulta do projecto que existia para a construção de uma Doca nº3 a sul da Doca nº4, de projecto coincidente no tempo. Abandonada a ideia por imperativo do mercado (tornou necessário aumentar a área de terraplenos e provou desnecessário existir uma extensão tão elevada de cais acostáveis) a Doca nº2 permaneceu com a forma prevista aquando do seu projecto nas décadas de 50 e 60.

Inicialmente, a Doca nº2 contemplava apenas três perfis-tipo: a Norte, uma configuração tipo-Dinamarquês vencendo as fracas condições dos solos e a posição muito baixa do “bed-rock”; a Sul, a opção recaiu num cais gravítico à semelhança do adoptado para a zona Este da doca.

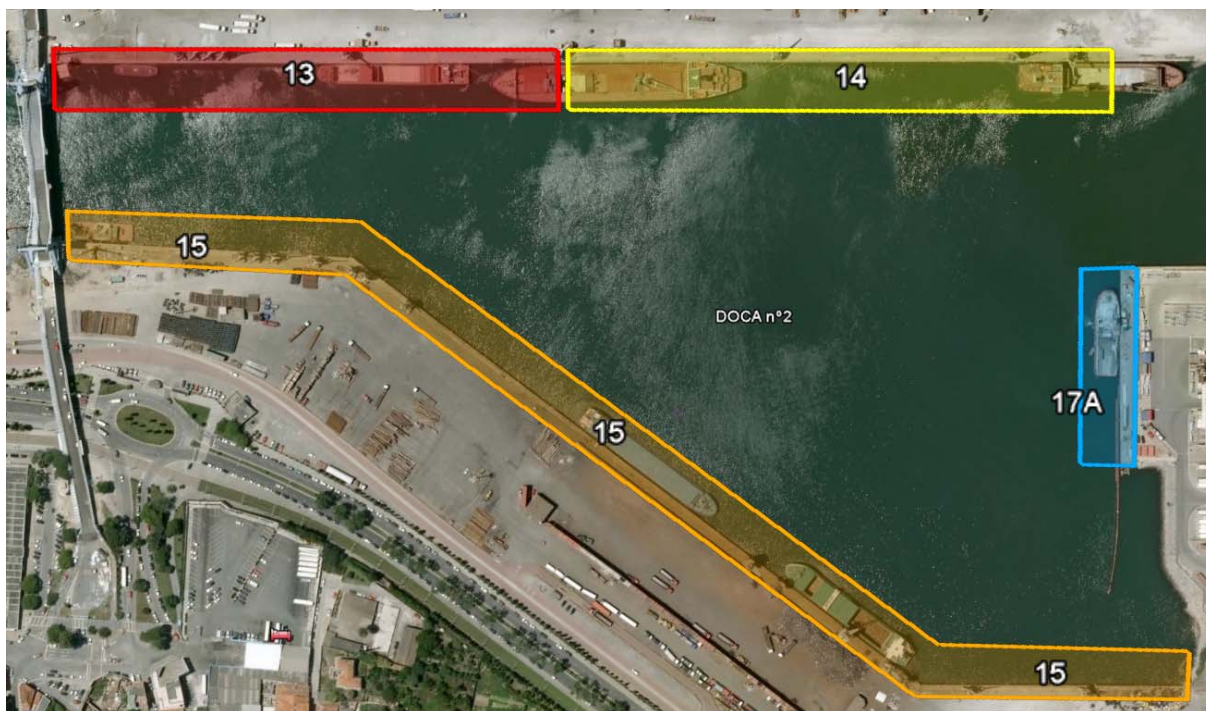


Fig. 78 - Vista aérea da Doca nº2

Como se constata na figura anterior, a actualidade é ligeiramente diferente do inicialmente previsto e executado. As estruturas fundadas em solos com bons índices de resistência permanecem em actividade enquanto parte do cais Norte, cuja fundação não apresenta iguais índices de confiança, sofreu obras de reabilitação em cerca de 300m de cais.

A estrutura intervencionada apresentou várias anomalias nas décadas de 70 e 80, o que precipitou a sua reconstrução através da execução de um conjunto de estacas verticais com função de suporte do terraplino.

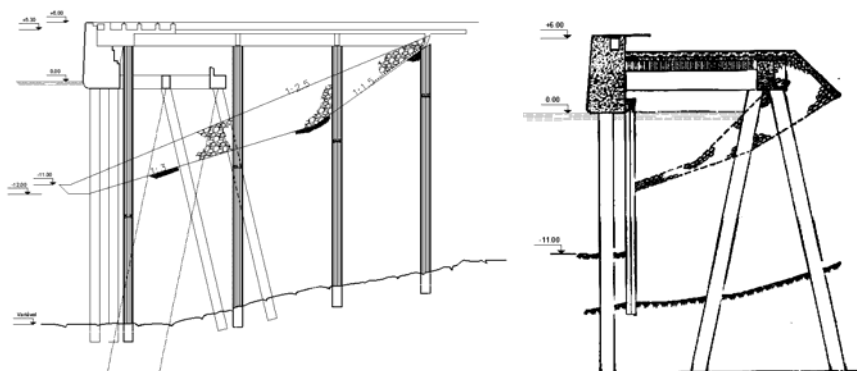


Fig. 79 - Cais sobre estacas e Cais Tipo-Dinamarquês existentes na Doca nº2 (Perfis 13 e 14) – Fonte: APDL

A Sul e a Este, as condições geotécnicas mais favoráveis (camada de terreno compacto mais próxima da superfície) permitiram manter em funcionamento as soluções gravíticas construídas inicialmente.

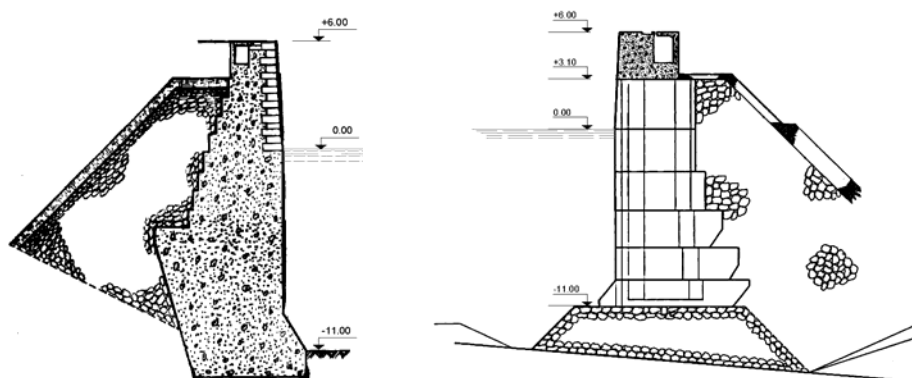


Fig. 80 - Perfis transversais das soluções gravíticas existentes na Doca nº2 (Perfis 15 e 16) – Fonte: APDL

5.2. OBJECTIVOS

O aprofundamento dos cais acostáveis das Docas nº1 e nº2 do Porto de Leixões pretende dar resposta a um conjunto alargado de objectivos:

- Sustentar o aumento de tráfego intra-comunitário;
- Dar um melhor aproveitamento à existência, nessas docas, de um canal de navegação com fundos à cota -12m (Z.H.L.);
- Permitir o aumento do número de postos para navios de maior calado no caso do Terminal de Contentores de Leixões;
- Dotar outros terminais da capacidade para receber navios de maior calado;
- Oportunidade para avaliação das condições de segurança dos cais com respectivo reforço caso sejam detectadas deficiências;
- Oportunidade para prever a instalação de novos equipamentos portuários;
- Análise da possibilidade de aumento do terrapleno por avanço da posição as frente do cais.

A este conjunto de objectivos directamente relacionados com a fiabilidade e competitividade do porto, deverão ser acrescentados outros argumentos indirectos: o momento actual caracteriza-se por uma profunda crise económica global e as entidades com participação pública, como é o caso do Porto de Leixões, poderão fomentar a confiança e abrir novos horizontes através dos seus investimentos.

Apostar no futuro investindo com rigor e com precisão irá favorecer o aumento de actividade económica e, consequentemente, a recuperação da mesma. Ironicamente, a recuperação económica da área de influência do Porto de Leixões poderá partir do meio e não da origem (considerando os transportes um meio de levar algo da origem para um destino).

5.3. CONDICIONANTES

As obras portuárias, em especial aquelas que têm por objectivo desenvolver um porto em funcionamento, acarretam um vasto conjunto de condicionantes que terão impacto sobre as várias fases que lhes estão associadas.

O impacto dos condicionalismos estende-se desde a fase de projecto (na qual se procura identificar a solução que potencialmente trará os efeitos mais favoráveis para os interesses do porto no futuro) à

fase de planeamento da obra (na qual se procura reduzir o impacto da obra no funcionamento simultâneo do porto).

Ainda assim, apesar de lógico dividir as condicionantes consoante afectem o projecto ou a obra, compreende-se que algumas condicionantes afectam não só o projecto como a própria execução da obra. A título de exemplo, o aumento de terrapleno através do avanço deste em direcção ao plano de água acarreta não só analisar a situação final do canal de navegação como também provocará maiores incómodos ao funcionamento do porto durante a obra.

Ainda na fase de projecto, afiguram-se como as principais condicionantes aquelas que alteram consideravelmente a solução a adoptar, sendo essas essencialmente de cariz geológico, estrutural e espacial:

- Natureza dos fundos – impede a adopção de certas técnicas e tecnologias;
- Movimento do porto – não permite liberdade de escolha de extensão em tempo e espaço das obras a executar;
- Cais existentes – a composição do cais e o seu estado de conservação poderão reduzir significativamente a sua capacidade resistente;
- Espaço – existe pouca margem para avanço em direcção ao plano de água devido à reduzida largura do canal;
- Paisagem – grandes obras poderão não receber grande aceitação da população, especialmente em obras que envolvam ambientes marítimos;
- Custos – a solução adoptada deverá representar um claro benefício em relação ao custo que lhe está associado.

Durante a construção deverá constituir-se como principal preocupação a redução da perturbação do porto. Será por isso essencial levar a cabo uma preparação exaustiva da obra para que, durante a sua realização, o porto consiga operar com níveis próximos dos que obteria sem a mesma. Alguns exemplos de medidas que o permitem são:

- Minimizar das áreas de intervenção – garantindo o máximo de área de terrapleno e extensão de cais disponíveis;
- Faseamento construtivo – especialmente importante para obras que impliquem ocupação de consideráveis áreas de terrapleno e extensões de cais;
- Evitar ou minimizar a utilização de desmonte de rocha com recurso a explosivos – o que criaria novas implicações a nível ambiental e de estabilidade das estruturas existentes;
- Minimizar custos e duração dos trabalhos – reduzindo o efeito nefasto que a obra impõe ao funcionamento do porto;
- Evitar ou minimizar a ocupação do plano de água – garantindo condições de segurança para o funcionamento do porto;
- Prever formas de impedir libertação de poeiras e fluidos – benéfico em termos ambientais e para o funcionamento do porto.

Recorde-se que as condicionantes com principal impacto sobre a obra poderão também ter semelhante efeito sobre o projecto.

5.4. SOLUÇÕES ESTUDADAS: PONTOS FORTES E PONTOS FRACOS

5.4.1. AVANÇO

Esta solução tem por base a construção de uma nova estrutura de acostagem situada com uma ligeira distância relativamente à estrutura inicial.

É geralmente adoptada com fins de aprofundamento de cais quando os fundos apresentam configuração favorável, ou seja, aumentam rapidamente com a distância ao cais inicial; ou quando também se pretende aumentar a largura de terrapleno.

Para a materialização desta nova estrutura de acostagem pode ser usada qualquer uma das soluções estruturais comuns apesar de, por vezes, aparecerem situações em que a nova estrutura estará sujeita a acções menos destabilizadoras que a solução inicial.

Tabela 3 – Pontos Fortes e Pontos Fracos da Solução “Avanço”

Pontos Fortes
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento de terrapleno, em cais com pequena largura e condicionados por uma envolvente de vias de circulação portuárias e urbanas; ▪ Possibilidade de pequenos avanços com defensas; ▪ Solução estrutural potencialmente mais simples e executável por um maior número de concorrentes; ▪ Não depende das condições de conservação das estruturas existentes; ▪ Maior flexibilidade na escolha da solução estrutural, podendo constituir uma solução independente do cais existente.
Pontos Fracos
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduz a largura do plano de água; ▪ Poderá envolver custos avultados; ▪ Depende das condições geotécnicas; ▪ Perturba ou condiciona a manobra e a circulação dos navios.

Esta solução poderá ser implementada como uma solução de compromisso desde que os “avanços” sejam relativamente pequenos.

5.4.2. ANCORAGEM NO TARDOZ

A solução que envolve a execução de uma ancoragem do tardoz proporciona um incremento de segurança através da transmissão das forças destabilizadoras actuantes sobre o paramento para a armadura existente na ancoragem. Ou seja, as forças transversais do paramento são transmitidas para a ancoragem que as recebe como forças axiais as quais transmite ao solo mobilizando a sua resistência ao solo.

É essencialmente usada em situações em que o aprofundamento provoca um acréscimo de acções destabilizadoras, principalmente por aumento do braço de cada força em relação ao centro instantâneo de rotação.

Tabela 4 – Pontos Fortes e Pontos Fracos da Solução “Ancoragem no Tardoz”

Pontos Fortes
<ul style="list-style-type: none"> Solução pouco intrusiva; Execução relativamente simples e ao alcance de um largo conjunto de empresas; Solução pouco dispendiosa; Não ocupa o plano de água, não perturbando as manobras e circulação de navios
Pontos Fracos
<ul style="list-style-type: none"> Pode haver falta de capacidade resistente da estrutura existente Pode interferir com infra-estruturas existentes do lado de tardoz

Refira-se que esta solução é geralmente utilizada em conjunto com outras soluções dado que não qualquer capacidade de retenção de solo. Para tal aprofundamento de cais, a ancoragem do tardoz poderá ser utilizada numa solução mista.

5.4.3. NOVA ESTRUTURA ADERENTE

A construção de uma nova estrutura aderente à existente aparece vulgarmente relacionada com a necessidade de reabilitação profunda do cais. A significativa alteração das condições de carregamento da estrutura impede que possam ser adoptadas soluções de reforço localizadas o que provoca a necessidade de ser estudada uma nova estrutura. Nestes casos, a estrutura antiga geralmente não é demolida proporcionando alguma contribuição para a estabilidade e eliminando o custo que estaria associado a esse processo.

As soluções técnicas para a materialização do novo paramento têm a função de apenas compensar a instabilidade provocada pelo rebaixamento dos fundos e por degradação da estrutura, caso exista.

Tabela 5 – Pontos Fortes e Pontos Fracos da Solução "Nova Estrutura Aderente"

Pontos Fortes
<ul style="list-style-type: none"> Conduz a pouca ocupação do plano de água; Flexibilidade na escolha da solução estrutural; Pode adaptar-se a solução estrutural à capacidade das empresas a concurso; Solução economicamente favorável; Permite o reforço estrutural do cais.
Pontos Fracos
<ul style="list-style-type: none"> Possíveis dificuldades construtivas; As características geotécnicas poderão impedir uma solução estrutural pouco intrusiva; Interferência com a estrutura existente.

5.4.4. REFORÇO DA FUNDAÇÃO

O acréscimo de instabilidade associado a obras de aprofundamento de cais acostáveis está não só relacionado com o derrube da estrutura como também com o escorregamento da mesma. O reforço de fundação tem por princípio o melhoramento das condições da ligação solo/estrutura para que seja adquirida maior resistência ao escorregamento da estrutura.

Esta solução tem sido justificada pela facilidade e celeridade dos processos o que provoca menores impactos sobre o funcionamento do porto.

Tabela 6 – Pontos Fortes e Pontos Fracos da Solução "Reforço da Fundação"

Pontos Fortes
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pode não interferir significativamente com o plano de água; ▪ Variedade de tecnologias permite adaptação da dificuldade aos concorrentes; ▪ Solução potencialmente económica; ▪ Pode aproveitar o cais existente.
Pontos Fracos
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pode apresentar dificuldades construtivas ▪ Pode o cais existente não estar preparado para as novas acções

5.4.5. SOLUÇÕES MISTAS

As soluções mistas têm sido consideradas sempre que o aprofundamento de cais não provoque alterações profundas nas condições de carregamento da estrutura. Optar-se por uma solução mista poderá proporcionar vantagens de cada solução adoptada e minimizar as fragilidades que as mesmas apresentam.

As soluções mistas permitem reforçar a estrutura nos locais onde se prevê o aumento de instabilidade ao invés de reforçar toda a estrutura.

Tabela 7 – Pontos Fortes e Pontos Fracos da Solução "Soluções Mistas"

Pontos Fortes
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Combinam os pontos fortes de cada uma das soluções ▪ Minimizam os pontos fracos de cada uma das soluções ▪ Pode favorecer a exequibilidade das técnicas construtivas
Pontos Fracos
<ul style="list-style-type: none"> ▪ A utilização de diversas tecnologias com especificidades e equipamentos próprios

As questões relacionadas com a exequibilidade construtiva, interferência com a actividade portuária, interferência com os terraplenos, os custos e os prazos, são relevantes na selecção da solução a adoptar.

Num concurso público os concorrentes poderão apresentar propostas diferentes entre si podendo ser mais vantajosas para esse concorrente por utilizar tecnologias que esses concorrentes dispõem.

5.5. BASES DE DIMENSIONAMENTO

5.5.1. TIPOS DE ACÇÕES APLICADAS EM CAIS ACOSTÁVEIS

As estruturas de acostagem de navios estão sujeitas a um largo conjunto de acções que se podem dividir consoante os períodos em que actuam: permanentemente, de forma variável ou acidentalmente.

Por acções permanentes entendem-se as que actuam continuamente sobre a estrutura com um valor constante. Em obras portuárias esta definição tem especial importância uma vez que existem algumas acções que, apesar de actuarem continuamente, fazem-no com valores variados, como é exemplo a acção “impulsos hidrostáticos”. Esta acção torna-se de cariz variável devido à constante variação do nível da maré e do nível freático e, conseqüentemente, do valor do impulso que lhes está associado.

No conjunto das acções permanentes e constantes que actuam na estrutura, considera-se apenas o peso próprio como actuando sempre com valor constante:

- Peso próprio da estrutura;
- Peso próprio do enchimento.

Na figura seguinte representa-se de forma esquemática a estrutura sujeita apenas a acções permanentes:

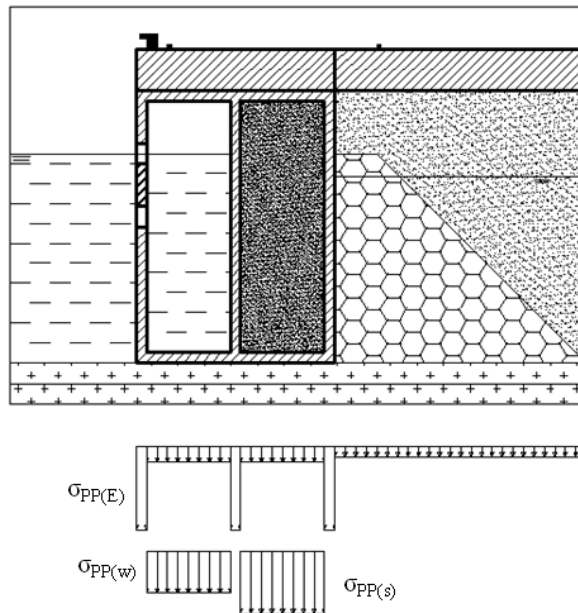


Fig. 81 - Acções permanentes em cais acostáveis

Com base na análise anterior da acção “impulsos hidrostáticos”, poder-se-á definir como Acção Variável aquela que reunir um dos seguintes pressupostos (ou até ambos):

- Actua continuamente na estrutura mas o seu valor varia com o tempo;
- Actua em determinados períodos de tempo.

No conjunto destas variáveis destacam-se:

- Impulsos hidrostáticos;
- Impulso activo dos solos do lado protegido (por acção da variação do nível freático);
- Sobrecargas de utilização sobre a superestrutura;
- Sobrecarga de utilização devida aos equipamentos;
- Acção de acostagem/amarração dos navios.

Apesar de constituírem igualmente acções de cariz variável, a acção da agitação e do vento são geralmente desprezadas por não produzirem uma acção significativa quando comparadas com as restantes acções (espera-se que o porto ofereça óptimas condições de vento e agitação).

Na figura seguinte representam-se as principais acções variáveis que actuam sobre uma estrutura de acostagem de navios:

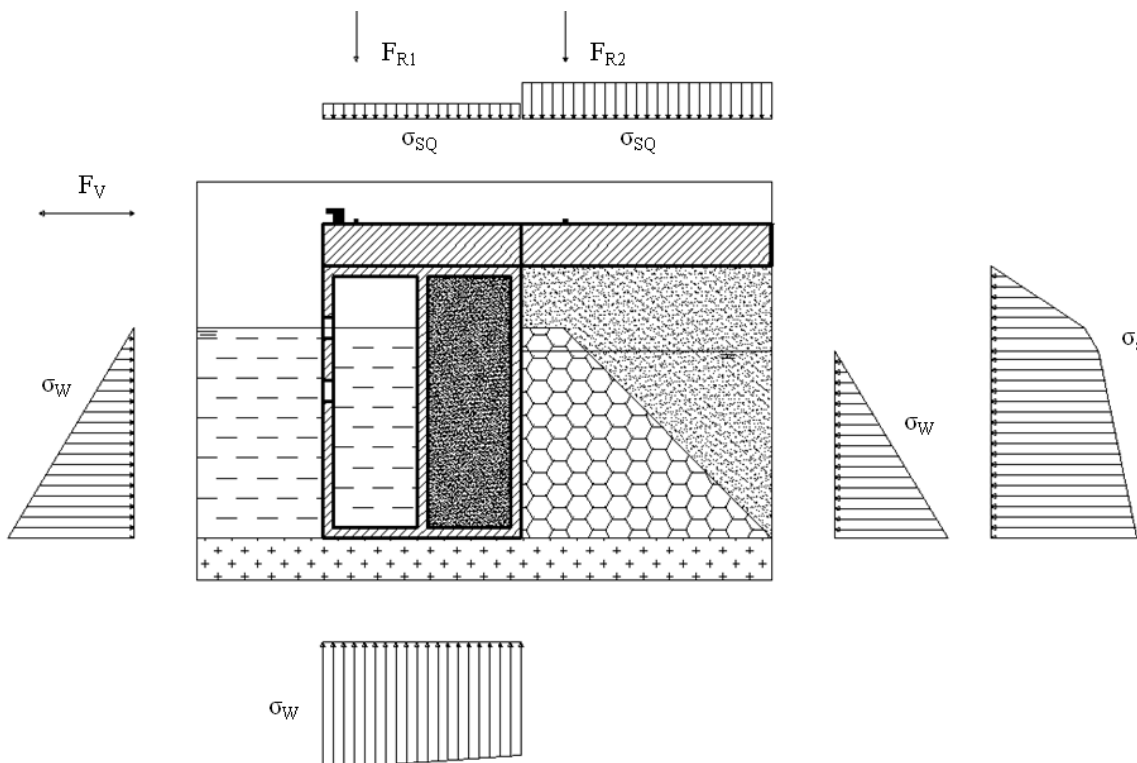


Fig. 82 - Acções Variáveis Actuantes em Cais Acostáveis

Por fim, existem algumas acções designadas de acidentais que, na prática, correspondem a situações cuja probabilidade de ocorrência é diminuta sendo a sua quantificação difícil e passível de erro.

Neste grupo, incorporam-se situações de sismos, explosões e acções acidentais de navios sobre a estrutura. Como facilmente se reconhece, dificilmente se conseguirá prever o efeito máximo que cada uma destas acções poderá um dia realizar sobre o cais e o dimensionamento com base nestas previsões resultaria em estruturas de custos inportáveis.

5.5.2. ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

Conhecidas as acções que poderão, de forma permanente ou variável, actuar sobre a estrutura será necessário não só proceder-se à análise do efeito isolado de cada uma como também conjugá-las e procurar as combinações de acções que poderão provocar os efeitos mais nefastos.

São, fundamentalmente, quatro os tipos de rotura que poderão ocorrer num cais acostável:

- Derrubamento;
- Escorregamento pela base;
- Rotura do solo de fundação;
- Escorregamento global.

A rotura por derrubamento ocorre quando a estrutura roda em torno de um ponto. Para que tal aconteça, a combinação das acções provoca um momento destabilizador superior ao momento estabilizador.

Na figura seguinte mostra-se um caso de derrubamento de uma estrutura de suporte de terras:

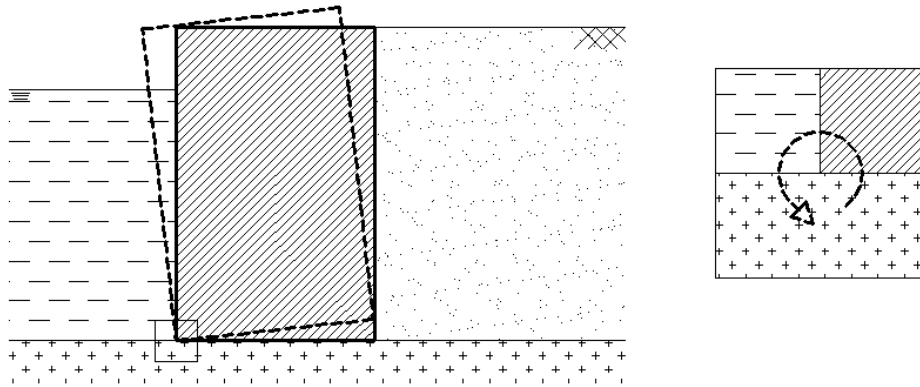


Fig. 83 - Derrubamento de uma estrutura de suporte de terras

No caso apresentado o momento destabilizador anti-horário supera o momento estabilizador que tem rotação horária. Uma combinação de acções diferente poderia eventualmente resultar no derrube da mesma estrutura no sentido contrário. É por isso um exemplo meramente ilustrativo.

Outra situação que poderá provocar a rotura da estrutura é quando a resultante das acções que mobilizam a estrutura num sentido, se superioriza à resultante das acções que o fazem no sentido contrário (considerando-se a acção da força de atrito mobilizável entre a base da estrutura e o maciço de fundação como favorável à estabilidade):

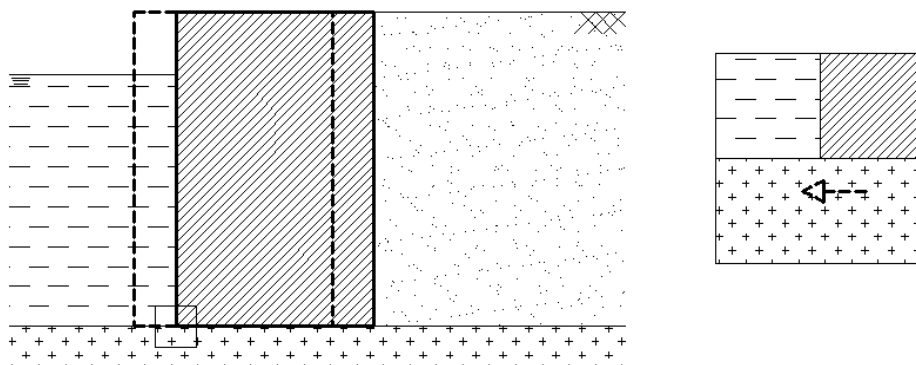


Fig. 84 - Rotura por escorregamento pela base

Outra situação que deve ser estudada durante o processo de dimensionamento da estrutura prende-se com a existência de uma cunha de deslizamento de terras que passe por um dos pontos da base da estrutura, como se representa na figura seguinte:

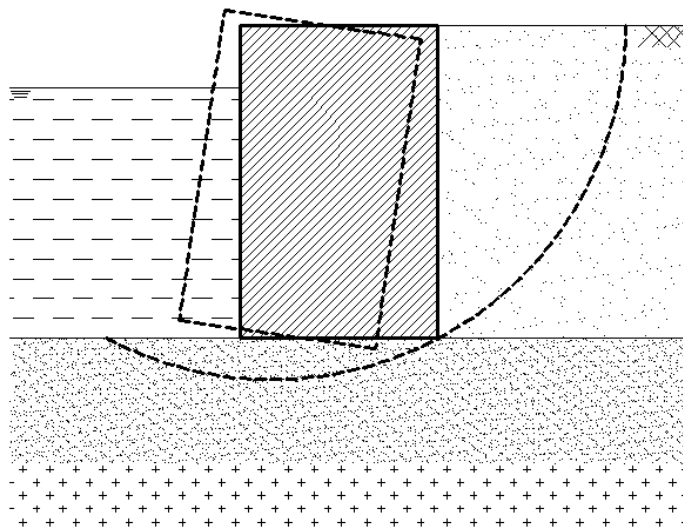


Fig. 85 - Rotura da fundação

Esta situação de rotura acontece quando surgem tensões indesejáveis no solo que serve de fundação à estrutura. O que começa por ser uma rotura localizada do solo logo se alastra à estrutura colocando em causa a sua estabilidade.

Semelhante ao caso anterior, surge a rotura do conjunto por escorregamento global:

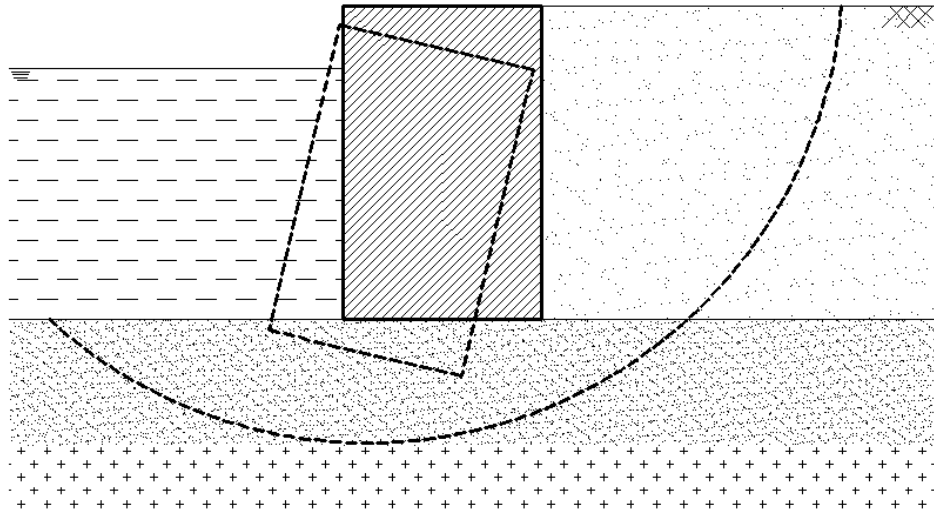


Fig. 86 - Rotura por escorregamento global

Nestes casos o que acontece justifica-se igualmente com as características geotécnicas. A presença de uma camada de resistência elevada sobre a qual existe uma camada de solo com menos capacidade de carga, cria condições para a existência de uma cunha de deslizamento que passa rasante à superfície de contacto entre as duas camadas. No caso de um cais acostável, a cunha de deslizamento pode alastrar-se para o interior do terrapleno colocando em causa a segurança de uma área mais abrangente.

Para que seja possível aos projectistas dimensionar uma solução com garantias de estabilidade, existem três variáveis cuja alteração poderá favorecê-la ou prejudicá-la:

- Materiais (com maior ou menor peso volúmico);
- Dimensões (estrutura mais ou menos esbelta);
- Alívio de acções (por exemplo, através da utilização de um prisma de alívio).

5.5.3. EFEITO DO REBAIXAMENTO NOS VALORES DAS ACÇÕES

5.5.3.1. Peso Próprio

O peso próprio da estrutura é de uma capital importância no dimensionamento de um cais acostável gravítico. Os projectistas começam por estudar o peso próprio que a estrutura pode (consoante as condições do solo) e deve (consoante as acções envolvidas) apresentar.

Com base na gama de valores obtida nessa análise, calculam as dimensões das estruturas recorrendo às várias possibilidades que existem para atingir esse peso, seja por utilização de blocos maciços ou estruturas ocas (como caixões e aduelas) preenchidas de forma homogénea ou heterogénea.

O valor do peso final, resultante das dimensões e pesos volúmcicos da estrutura, terá um efeito estabilizador da estrutura e constitui-se como a única que contribui permanentemente para tal (como se havia observado na figura do ponto 5.5.1)

Numa situação de aprofundamento de cais existentes, dificilmente será possível aumentar o peso próprio da estrutura. Ainda assim, torna-se imperativo demonstrar o efeito que tal possibilidade traria para a estabilidade da estrutura:

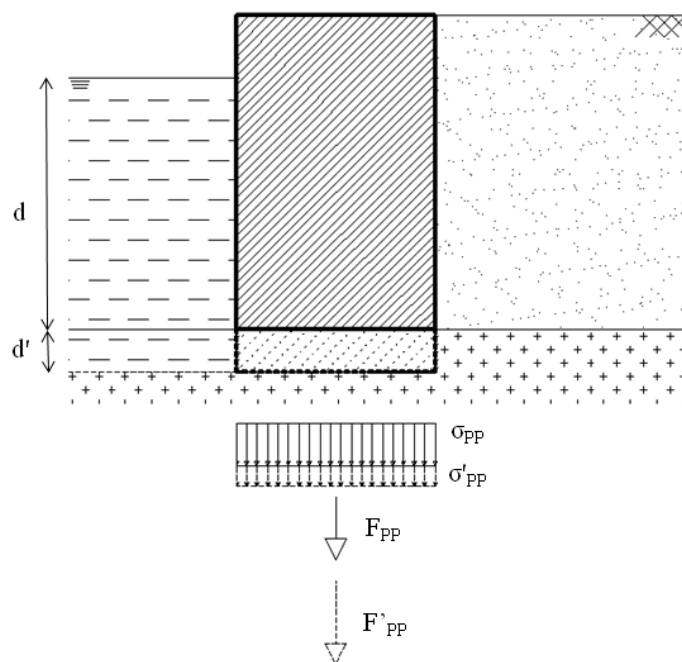


Fig. 87 - Efeito do aumento de profundidade na variável "Peso Próprio"

O aumento de profundidade reflectir-se-ia no aumento das dimensões da estrutura e, consequentemente, no aumento do seu peso próprio.

5.5.3.2. Impulsos Hidrostáticos

Um impulso hidrostático resulta da acção que a água provoca sobre uma estrutura.

Em cais acostáveis esta é uma variável vital para a fiabilidade da solução apresentada. A localização destas estruturas está geralmente associada a variações, mais ou menos significativas, de marés e níveis freáticos, o que altera provoca constantes alterações das condições de carregamento da estrutura.

É por isso fundamental estudar o funcionamento futuro da estrutura dimensionada quando sujeita a diferentes carregamentos provocados pelos impulsos hidrostáticos (PMAV e BMAV). Para além disso, surge várias vezes um pequeno desfasamento entre o nível de água do lado exposto e o nível freático do lado protegido, contribuindo igualmente para o desequilíbrio do conjunto.

Quando o nível de água é igual dos dois lados da estrutura, a sua acção horizontal pode ser desprezada uma vez que a acção existente do lado exposto anula o efeito da existente do lado protegido. Caso contrário é necessário estudar-se 4 situações distintas:

- PMAV(E) e PMAV(I)-h';
- BMAV(E)+h e BMAV(I);
- PMAV(I) e PMAV(E)-h;
- BMAV(I)+h' e BMAV(E).

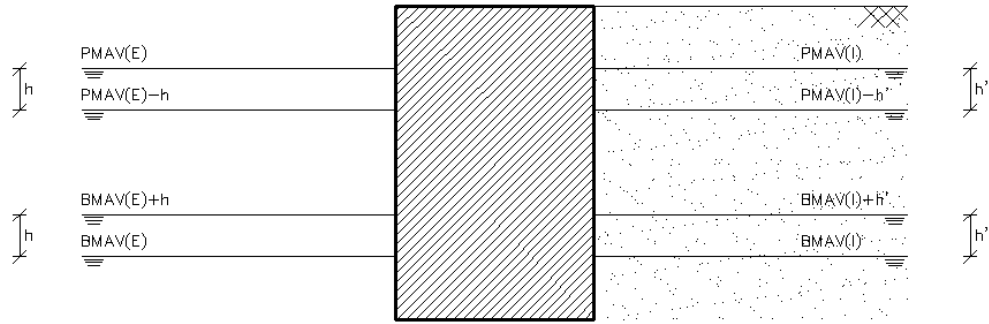


Fig. 88 - Variação dos níveis de água (lado exposto) e nível freático (lado protegido) num cais acostável

Mesmo que consideremos $h=h'$, constata-se que o nível de água dos dois lados raramente é o mesmo. A título de exemplo, quando se atinge o nível de Preia-Mar de Águas Vivas do lado exposto, verifica-se geralmente um nível inferior do nível freático no lado protegido. Este acontecimento deve-se a um ligeiro atraso da subida do nível freático provocado pela variação de maré. Da mesma forma este ligeiro atraso é igualmente responsável por uma ligeira diferença de nível quando do lado exposto de atinge o nível de Baixa-Mar de Águas Vivas.

Após aumento de profundidade do cais, o reflexo na variável “Impulsos Hidrostáticos” faz-se sentir da seguinte forma:

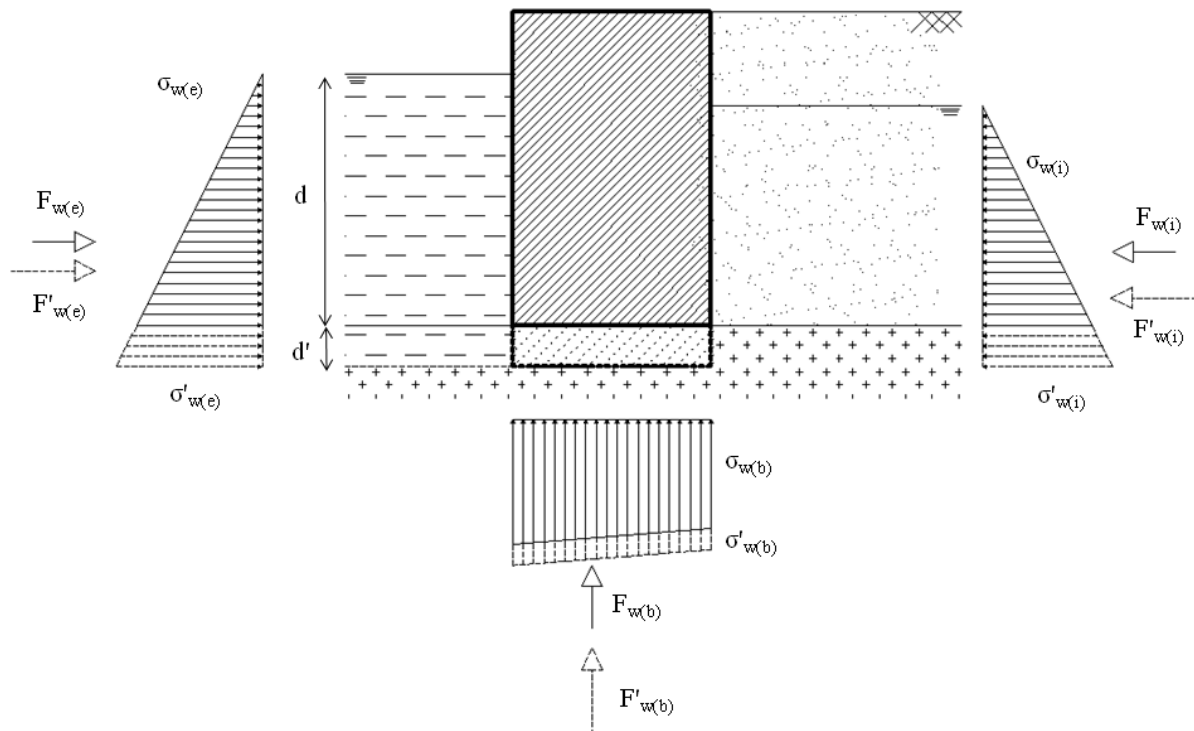


Fig. 89 - Efeito do aprofundamento sobre a variável "Impulsos Hidrostáticos"

Verifica-se que a força resultante dos vários diagramas de impulsos hidrostáticos aumenta e muda de ponto de aplicação resultante.

Como exemplo, atente-se no diagrama triangular de impulsos hidrostáticos do lado exposto: verifica-se não só que $F_w(E)$ é inferior a $F'_w(E)$ como também que o centro de gravidade do diagrama muda para uma posição inferior. Esta diferença poderá colocar em causa a estabilidade da estrutura.

5.5.3.3. Impulso de Terras

A acção que os solos aplicam sobre as estruturas tem o nome de Impulso de Terras. As suas características assemelham-se às dos impulsos hidrostáticos com as devidas especificidades que advêm das diferenças entre os materiais.

Quando necessário, poderá prever-se a alteração das características do solo do lado protegido para que se atinjam diferentes valores de impulsos - o que pode contribuir de forma significativa para a estabilidade - seja através da execução de um prisma de alívio ou por substituição do solo.

O efeito do aprofundamento no que diz respeito a impulsos de terras resume-se ao aumento da força resultante e possível alteração do seu ponto de aplicação, como se verificava no caso dos impulsos hidrostáticos horizontais do ponto anterior:

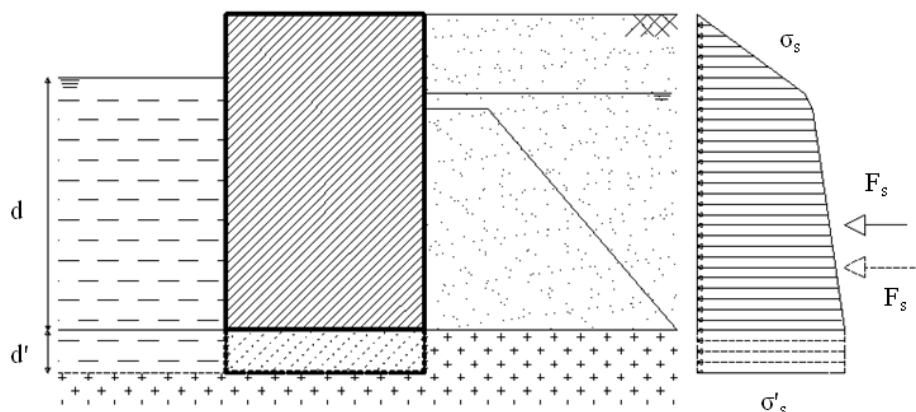


Fig. 90 - Efeito do aprofundamento na variável "Impulso de Terras"

No diagrama de impulso de terras apresentado, observam-se duas quebras de inclinação: na cota do nível freático e na cota de início do prisma de alívio.

A primeira deve-se à contribuição do impulso hidrostático sobre as partículas de solo; a segunda está relacionada com a diferença de características do solo.

5.5.3.4. Sobrecarga de Utilização

Por sobrecarga de utilização entende-se o aumento de acções verticais provocado pela colocação de cargas na parte superior do terrapleno ou pela movimentação das mesmas.

Sendo uma acção variável quer em valor quer em período de actuação, deve estudar-se a estrutura para duas situações distintas: sem qualquer sobrecarga de utilização ou com a carga máxima expectável.

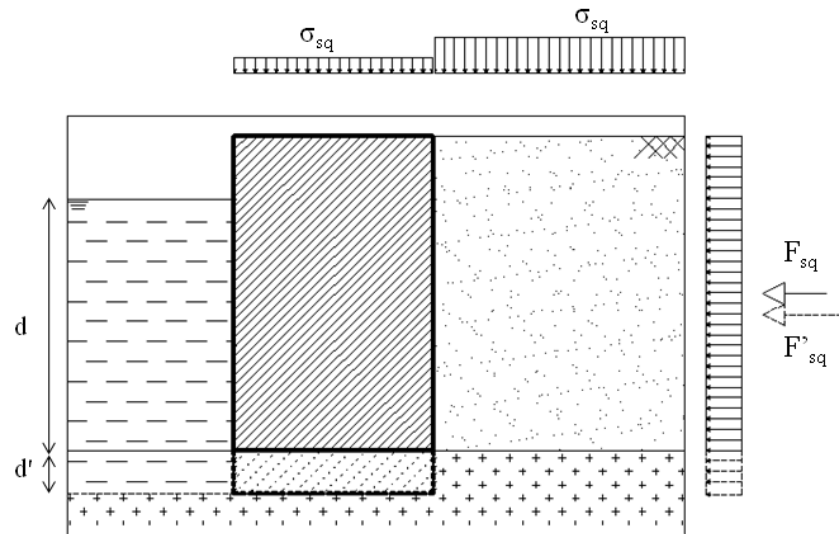


Fig. 91 - Efeito do aprofundamento na variável "Sobrecarga"

O aumento de profundidade provocará apenas um aumento de extensão do diagrama resultante da sobrecarga e um ligeiro desfasamento do ponto de aplicação da força resultante. Será dessa forma prejudicial para a segurança da estrutura ao nível do escorregamento e no caso de derrubamento no sentido anti-horário.

5.5.3.5. Acostagem/Amarração

A ação que um navio exerce sobre a estrutura de acostagem poderá ser distinguida entre acostagem (quando o navio aplica uma força no sentido da estrutura) ou amarração (quando o navio aplica uma força no sentido contrário ao cais).

Esta força é transmitida ao cais através de amarras fixas ao navio e a cabeços de amarração encastrados na estrutura.

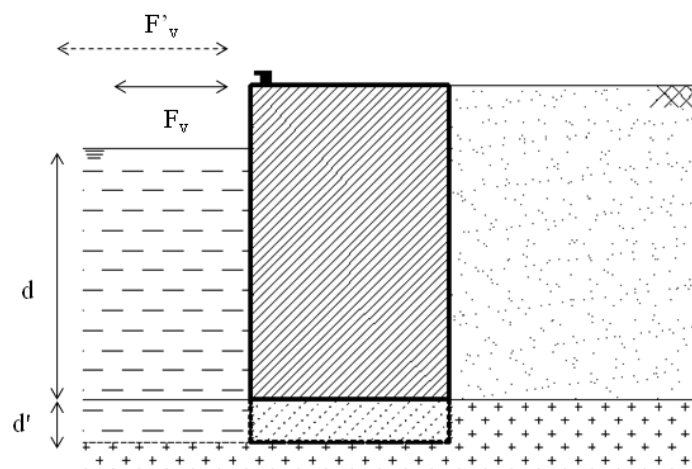


Fig. 92 - Efeito do aprofundamento sobre a variável "Força de Acostagem/Amarração"

O aumento de profundidade provocará duas alterações distintas: directamente porque aumenta o braço da força reflectindo-se proporcionalmente no aumento do momento; indirectamente porque estas forças poderão aumentar devido à recepção de navios de maior porte.

Para além disso, a recepção de navios de maior porte poderá tornar necessário o dimensionamento de novas defensas.

Ainda assim, nem sempre o aumento do porte dos navios se faz sentir pelo aumento da força de acostagem/amarração; geralmente os navios de maiores dimensões procuram aumentar os pontos de fixação dividindo a força total por um número superior de cabeços de amarração.

5.5.3.6. Sobrecarga de Equipamentos

Os equipamentos de carga e descarga dos navios aplicam igualmente uma acção sobre a estrutura. Como se observou na figura do ponto 5.5.1, esta acção representa-se geralmente como duas forças concentradas resultantes do peso máximo que cada um dos apoios dos pórticos ou guindastes podem transmitir.

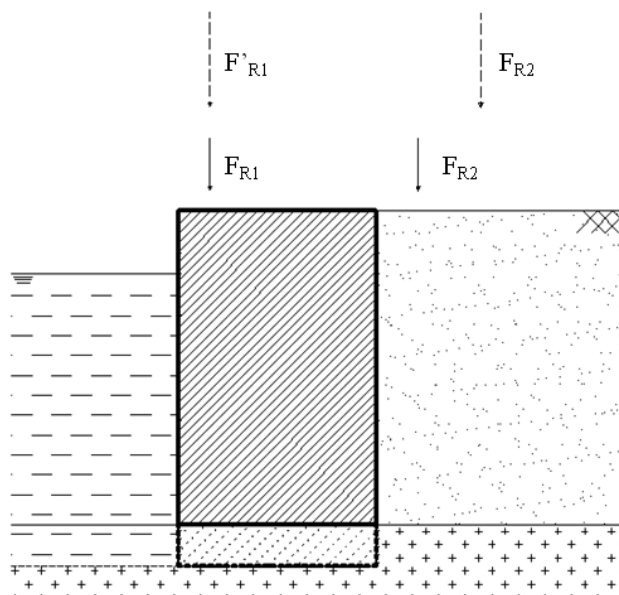


Fig. 93 - Efeito do aumento de profundidade na variável "Sobrecarga de Equipamentos"

O aumento de profundidade não altera directamente o efeito das forças. Porém, com o aumento de profundidade espera-se a recepção de navios com maior capacidade de carga e, consequentemente, poderá surgir a necessidade de instalação de novos equipamentos mecânicos. Poderá, por isso, prever-se ainda em projecto a possível existência dessa acção e preparar-se a estrutura para tal.

5.6. METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento de uma determinada estrutura de acostagem de navios caracteriza-se por resultar de um processo iterativo.

Para que tal tenha início dever-se-á começar por escolher a solução técnica a adoptar:



Fig. 94 - A escolha da solução técnica a adoptar

Partindo da solução técnica escolhida o processo assemelha-se para todas as soluções técnicas.

Com base na proposta de processo de dimensionamento de muro-cais em caixões celulares de betão armado de F. Veloso Gomes (Veloso-Gomes, 2008), apresenta-se de seguida uma proposta de processo de dimensionamento geral para as várias soluções técnicas:

- Pré-dimensionamento com indicação das dimensões e esboço geométrico;
- Definição das características técnicas;
- Enumeração e quantificação das acções – permanentes, variáveis e acidentais;
- Fixação dos critérios de estabilidade a verificar e coeficientes de segurança a garantir – Estados Limites Últimos;
- Apresentação das possíveis combinações de acções;
- Selecção das combinações mais desfavoráveis;
- Verificação das condições de estabilidade;
- Estimativa de quantidades de trabalho;
- Avaliação de exequibilidade construtiva e custos;
- Optimização da solução.

5.7. NECESSIDADE DE ANÁLISE ECONÓMICA

A existência de custos é uma consequência directa da existência de produção. Enquanto actividade produtiva, a indústria da construção necessita de utilizar factores produtivos (como materiais, equipamentos, trabalho, energia, entre outros) aos quais estão associados custos. Constitui-se como principal missão das empresas a procura de métodos de produção eficientes que permitam obter o máximo de produção ao mínimo custo.

Para tal, a entidade produtora terá que ter em consideração a existência de dois tipos de custo que constituem o custo total de um produto:

- Custo fixo – parte da despesa que não é afectada pela produção, ou seja, despesa que se verifica mesmo que o nível de produção seja nulo;
- Custo variável – parte das despesas que variam com a produção, ou seja, aumentam quando o nível de produção aumenta e vice-versa.

A existência de um custo fixo assume especial importância na indústria da construção, particularmente em obras marítimas e portuárias. A sua extrema dependência das condições climáticas obrigam não só a um planeamento flexível (permitindo executar trabalhos em terra quando não é possível operar no plano de água) como também a uma ponderação do risco na apresentação de uma proposta a concurso.

Um planeamento flexível caracteriza-se pela constante adaptação do plano de trabalhos às condições existentes (condições climáticas; disponibilidade de materiais, equipamentos e mão-de-obra). Essa

possibilidade permitirá compensar potenciais atrasos e consequentemente manter os prazos iniciais o que se reflectirá não só no custo final da obra (os custos fixos mantêm-se mesmo que a obra se encontre parada) como também na perda de receitas do cais devido à sua inoperacionalidade.

A ponderação do risco é também uma necessidade em obras com estas características. Para além do que já foi dito (dependência das condições climáticas) existem ainda outros riscos que deverão ser considerados e ponderados, que se estendem desde a inexequibilidade da solução construtiva (dificuldade de utilização de certos equipamentos face às características geotécnicas reais, aparecimento de anomalias não detectadas em estruturas existentes, etc.) até às características geotécnicas muito desfavoráveis (insuficiência de dados geotécnicos, heterogeneidade das características geotécnicas, etc.).

Pelas implicações no custo final e no prazo de execução que têm as variáveis apresentadas, torna-se essencial apresentar ao dono de obra uma análise económica de cada solução (em projecto) e da execução (após tomada da decisão da solução a adoptar).

Refira-se que para este trabalho foi impossível executar uma análise económica de cada solução adoptada por falta de dados do mercado acerca dos trabalhos envolvidos. Pretendia-se com esta prática apresentar o custo total e por metro de cada solução não apenas para as comparar economicamente mas também para avaliar a dimensão de investimento relacionada com o aprofundamento de cais acostáveis. Esta avaliação serviria de base para uma análise custo/benefício.

6

SÍNTESE E CONCLUSÕES

6.1. SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aprofundamento de cais acostáveis existentes apresenta-se como um projecto vital na estratégia futura dos portos nacionais. A perspectiva do aumento do número de navios de grandes dimensões abre portas à necessidade de os portos nacionais se adaptarem a esta nova realidade. A manterem as actuais instalações, os portos portugueses arriscam-se a perder competitividade num mercado que mostra exigência constante de melhorias de fiabilidade e rentabilidade.

Dada a complexidade do tema, este trabalho procurou ser a primeira abordagem a um problema que envolve valências de áreas como o Planeamento de Território, Hidráulica Marítima, Geotecnia e Estruturas.

Em jeito de síntese, dir-se-ia que este trabalho buscou realizar uma primeira análise da problemática de forma abrangente procurando lançar o debate nas duas principais áreas envolvidas: engenharia e economia.

Para tal, começou-se por identificar as razões que suscitam a necessidade de serem aprofundados cais acostáveis existentes. Constatou-se então que se assistiu nas últimas décadas a um significativo aumento das dimensões dos navios e que estes assumiram um papel ainda mais fundamental no panorama económico mundial.

De seguida, descreveram-se várias soluções técnicas para a construção e reabilitação de cais acostáveis e elaboraram-se fichas com base em estudos de casos de aprofundamento de cais a uma escala internacional. Refira-se que apesar de existirem inúmeras obras de aprofundamento de cais, o mesmo número não se verifica nos dados disponíveis. Referência apenas para a ausência de resposta por parte das empresas nacionais com maiores responsabilidades nas obras marítimas aos contactos do autor deste trabalho.

Após uma caracterização pormenorizada do Porto de Leixões (caso de estudo deste trabalho) apresentaram-se as principais implicações deste tipo de projectos para o dimensionamento das estruturas de acostagem e criaram-se as bases para o futuro dimensionamento de cada uma das possibilidades.

Por fim, apresentaram-se as principais variáveis de uma análise económica e de custo/benefício que deverão ser realizadas para cada solução analisada em futuros trabalhos.

6.2. SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

As limitações temporais e de meios foram obstáculo ao desenvolvimento deste trabalho. Ainda assim, conseguiram-se atingir praticamente todos os objectivos propostos.

Foi possível explorar os motivos que criaram a necessidade de aprofundar cais acostáveis e analisar as possibilidades para o fazer.

Sugere-se então que próximos estudos prevejam a pesquisa de mais soluções adoptadas a uma escala internacional susceptíveis de serem utilizadas em Leixões. Esta pesquisa poderá permitir alargar as possibilidades para o caso específico do porto que serve de caso de estudo a este trabalho.

Deverão ainda os próximos estudos contemplar uma quantificação de preços unitários relevantes (soluções técnicas especiais) e ordem de grandeza de indicadores de preços (p. ex.: por metro de cais) para soluções idênticas ao Porto de Leixões.

Por fim, dever-se-á realizar um dimensionamento considerando as acções definidas e preparar-se as condições técnicas especiais.

Aconselha-se que a escolha de uma solução final tenha especial atenção à conjugação dos principais factores de qualquer obra de engenharia: técnica e economia. Tratando-se de soluções estruturais muito especiais e dependentes de equipamentos e tecnologias que só um reduzido número de empresas dominam só uma consulta ao mercado devidamente parametrizada (definição de objectivos, acções, constrangimentos) permitirá encontrar a solução mais favorável.

BIBLIOGRAFIA

- APDL (2006). *Plano Estratégico de Desenvolvimento do Porto de Leixões*. APDL, S.A., Leça da Palmeira.
- Brogueira Dias, E. *O Porto de Leixões – Importância da Geologia Local nas Soluções Adoptadas*. APDL, S.A., Leça da Palmeira.
- Carreto, J.R. (2000). *Jet Grouting. Uma técnica em desenvolvimento*. VII Congresso Nacional de Geotecnia, 2000, Sociedade Portuguesa de Geotecnia, Porto.
- Carvalho, J. M. Crespo de. (2002). *Logística*. Edições Sílabo, Lisboa.
- Castro, Guy de. (1989). *Acerca do Projecto de Fundações em Estacas de Betão Armado*. LNEC, Lisboa.
- Cullinane, K., Khanna, M. (1999). *Economies of Scale in Large Container Ships*. Journal of Transport Economics and Policy, Volume 33, 185-207, University of Bath, Bath.
- Kaidussis, R. N., Gomez de Tejada, F. B. (2000). *O Jet Grouting como ferramenta versátil para o tratamento e melhoramento de solos*. VII Congresso Nacional de Geotecnia, 2000, Sociedade Portuguesa de Geotecnia, Porto.
- Kulisch, E., Dupin, C. (2008). *Hitched to the Ditch*. American Shipper, Maio de 2008, 42-50, Howard Publications, Inc., Jacksonville.
- IPTM-2 (2007). *Obras de melhoria da barra do Douro*, IPTM, Porto.
- Martins, J. G., Aguiar, M. A. (2005). *Contenção Lateral de Solos*, UFP, Porto.
- Melo, F. Guedes de. (1985). *Paredes Moldadas*. LNEC, Lisboa.
- Penfold, A., (2007). *Trade Concentration and Large Vessels in the Container Trades*. Salón Internacional de Logística, Junho de 2008, Barcelona.
- PIANC Working Group 105 (2009). *The use of alternative materials in marine structure construction*. PIANC Report, 105-2009, PIANC, Bruxelas.
- U.S.G.S. – United States Geological Survey, (2004). *Shifting Shoals and Shattered Rocks – How Man Has Transformed the Floor of West-Central San Francisco Bay*, U.S.G.S., Reston.
- Veloso-Gomes (2008), F. *Estruturas de Acostagem e Amarração*. FEUP Porto.
- APDL (<https://www.apdl.pt/>). Junho de 2009
- Autoridad Portuaria de Ferrol (<http://www.apfsc.es/>). Março de 2009
- Autoritat Portuaria de Barcelona (<http://www.apb.es/>). Março de 2009
- Biblioteca Nacional de Portugal (<http://purl.pt/index/geral/PT/index.html>). Maio de 2009
- David Eppstein (<http://www.ics.uci.edu/~eppstein/pix/bar/mj/Containers.html>). Março de 2009
- HPA – Halifax Port Authority (<http://www.portofhalifax.ca/>). Junho de 2009
- INE (<http://www.ine.pt>). Maio de 2009
- IPTM (http://www.imarpor.pt/informacao_tecnica/estatisticas.htm). Maio de 2009
- Kalmar (<http://www.kalmarind.com/show.php?id=605>). Março de 2009
- Landscape Architek (<http://landscapearchitek.wordpress.com/2009/01/>). Março de 2009

Navios à Vista (<http://naviosavista.blogspot.com/2008/08/lingueta-do-jones-e-o-porto-do-douro-ou.html>). Maio de 2009

Port of Rotterdam Authority (<http://www.maasvlakte2-havens.nl/>). Maio de 2009

RTP (<http://tv1.rtp.pt/noticias/?article=93827&visual=3&layout=10>). Junho de 2009

Soilmec (<http://www.soilmec.it/>). Maio de 2009

Soletanche-Bachy (<http://www.soletanche-bachy.com/>). Maio de 2009

West Sweden Seaport (<http://www.westswedenseaports.com>). Março de 2009

White Star Ships (<http://www.titanic-whitestarships.com/>). Maio de 2009

Wikipedia (<http://pt.wikipedia.org>). Junho de 2009

ANEXO 1

MURO CAIS DE ALCÂNTARA – PORTO DE LISBOA (PORTUGAL)

DESCRIÇÃO

- Líder nacional no movimento de navios, na quantidade de carga contentorizada e na quantidade de carga de graneis sólidos

ÁREA	12 Ha
EXTENSÃO DE CAIS	1000m
PROFUNDIDADES	De -8m para -13m
VARIAÇÃO DE MARÉS	4m
TIPO DE TERMINAL INTERVENCIONADO	Contentores

LOCALIZAÇÃO

- O porto encontra-se distribuído pelo Estuário do Rio Tejo. O Cais de Alcântara situa-se na margem direita, a sudoeste da cidade de Lisboa, Portugal.
-

ESTRUTURA EXISTENTE

- Solução gravítica constituída por blocos de betão apoiados sobre enrocamento à cota -12m.
 - Prisma de equilíbrio.
 - Parte superior do muro cais realizada em alvenaria.
 - Sinais de instabilidade nos anos 60 e 70.
 - Solo: Fundos em rocha basáltica
-

OBJECTIVOS

- Repôr estabilidade do muro cais
 - Aumentar as profundidades de acostagem para -13m.
 - Aumentar a superfície de terraplino dos 40m para os 120m
-

NOVA ESTRUTURA

- Solução em caixões de betão armado prefabricados, preenchidos com areia (?), afundados sobre um prisma de fundação em enrocamento.
 - Superestrutura betonada “in situ” com 4m de altura e 4.4m de largura, mantendo-se a cota de coroamento nos +6.0m.
 - Execução de um prisma de alívio de enrocamento.
 - Aterro de areia unindo a nova estrutura
-



Fig. 1 - Área intervencionada

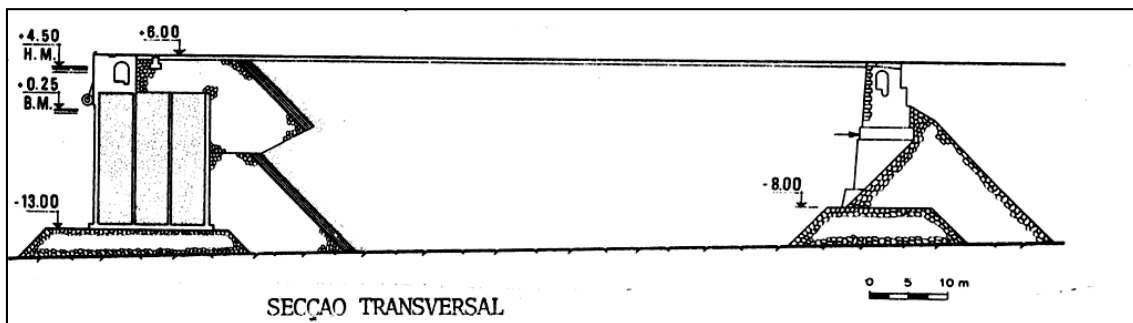


Fig. 2 - Perfil transversal da intervenção

DATAS

- Desde Abril de 1979 a Dezembro de 1981

FONTES

- www.portodelisboa.com
- Estruturas de acostagem e amarração, F. Veloso Gomes

PORTO DE FELIXSTOWE – TERMINAL DE DOOLEY (REINO UNIDO)

DESCRIÇÃO

- Maior porto de contentores do Reino Unido

ÁREA	
EXTENSÃO DE CAIS	195 m
PROFUNDIDADES	De -11.9m para -13.6m
VARIAÇÃO DE MARÉS	3.92 m
TIPO DE TERMINAL INTERVENCIONADO	Roll-On / Roll-Off

LOCALIZAÇÃO

- Cidade de Felixstowe no litoral do Estado de Suffolk, Sudeste de Inglaterra.
-

ESTRUTURA EXISTENTE

- Cortina de Estacas Prancha para suporte de terras;
- Perfis (I) avançados com função de transmitir as acções verticais ao terreno;
- Ancoragens ligadas a uma parede de ancoragem, garantem a estabilidade do conjunto;
- Características do solo: Areias e cascalhos de compacidade fraca a média. Aparecimento de giz a grandes profundidades.

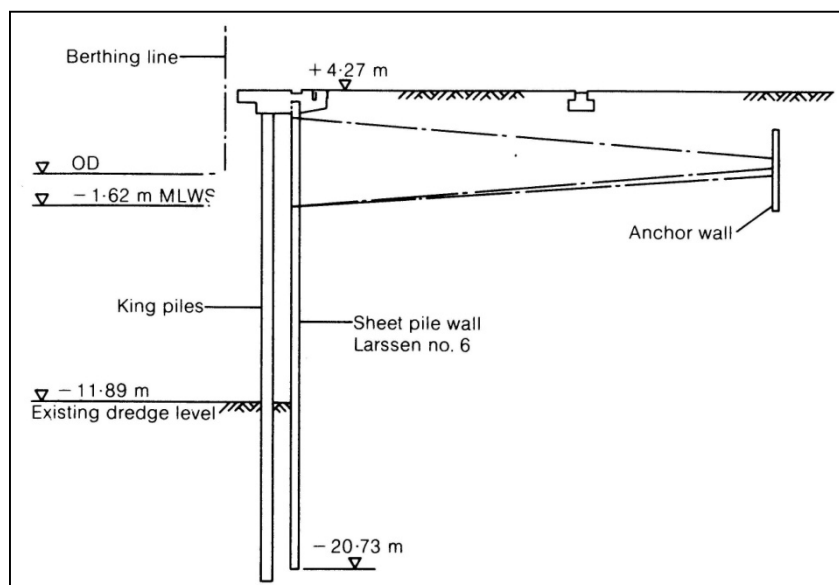


Figura 1 – Perfil transversal anterior à intervenção

OBJECTIVOS

- Com o objectivo de possibilitar a recepção de navios de maior calado, propôs-se o aprofundamento do cais em cerca de 1.70m. Este aumento de profundidade, por sua vez, introduziria problemas de estabilidade provocados pela redução da ficha das Estacas Prancha e dos perfis (I).

NOVA ESTRUTURA

- Várias alternativas foram consideradas e algumas eliminadas quer por complexidade de concepção quer por afectar demasiado a operacionalidade do porto;
- Construção de uma laje de alívio cerca de 5m abaixo da superfície do cais, suportada por perfis H até ao giz;
- Reforço do carril traseiro do guindaste através da execução de um reforço do solo com a técnica de jet grouting até profundidades superiores à laje de alívio;
- Construção em trechos de 20m para minimizar os distúrbios sobre as operações do porto.

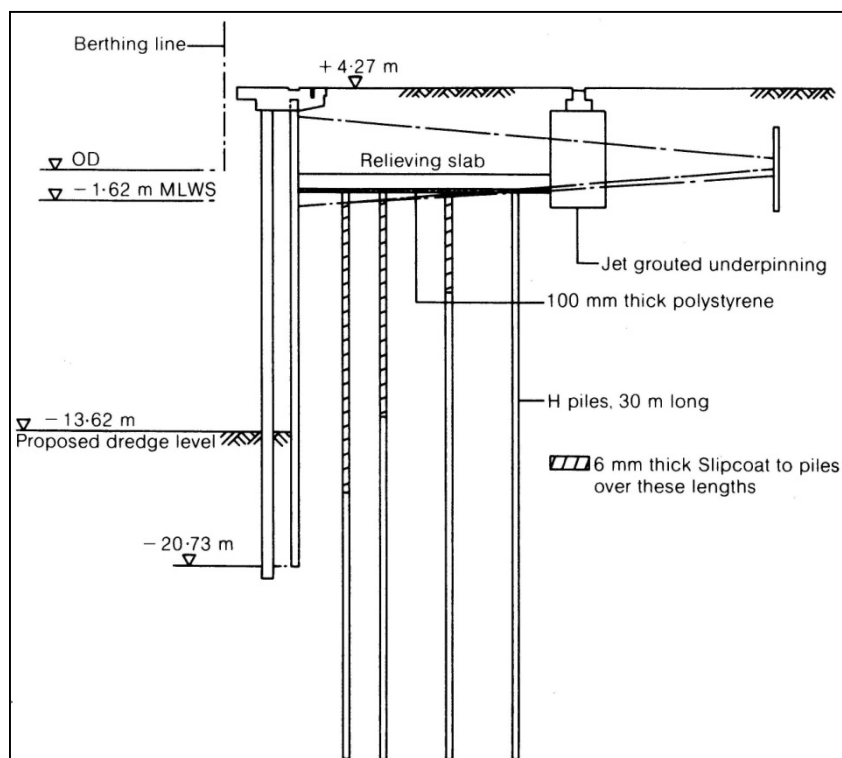


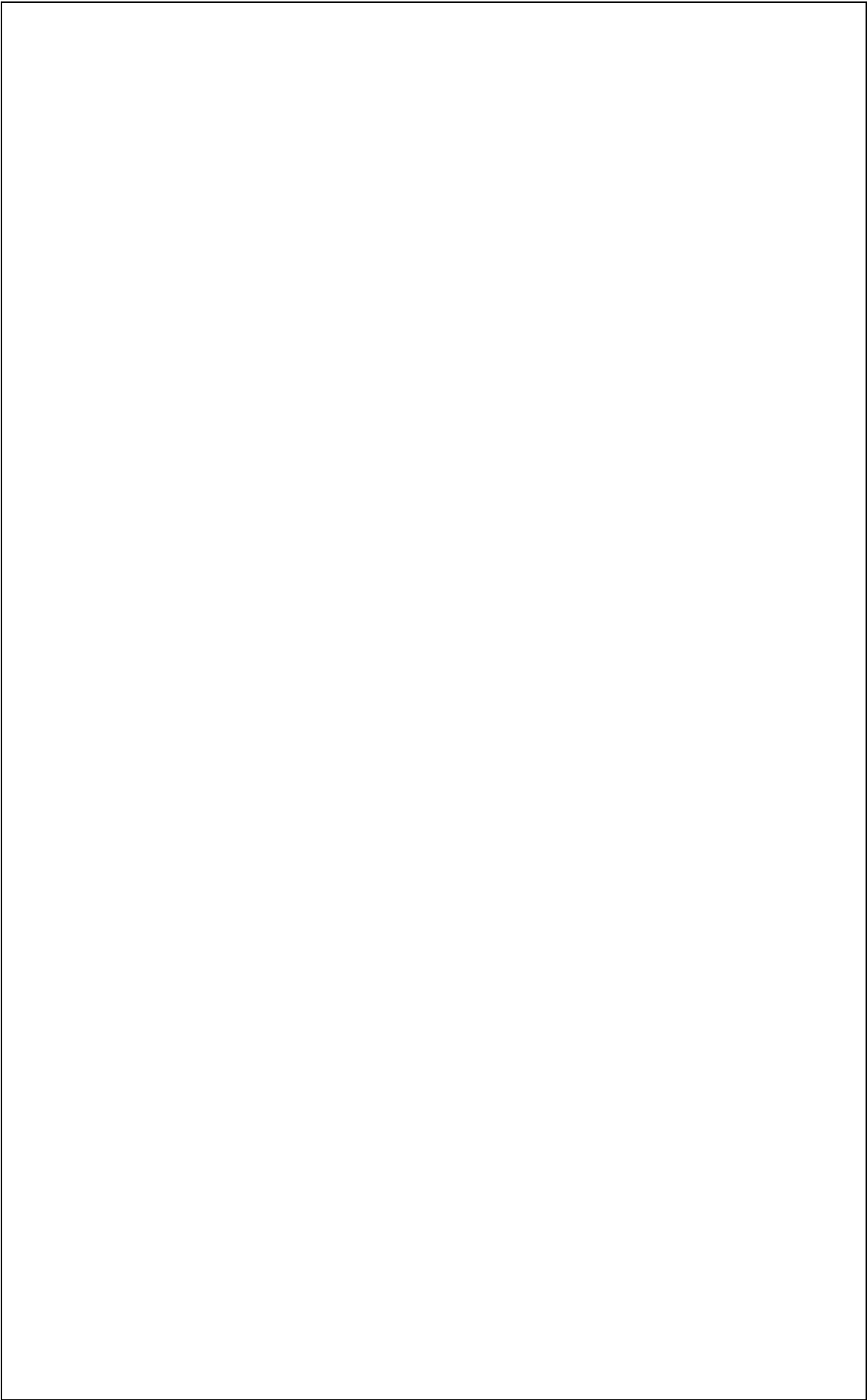
Figura 2 – Perfil transversal posterior à intervenção

DATAS

- A concepção do projecto iniciou-se em Novembro de 1982
- O cais aprofundado ficou operacional em Julho de 1983

FONTES

- Port management and operations at Felixstowe
- <http://www.portoffelixstowe.co.uk/>
- <http://www.tide-forecast.com/>



PORTO DE FELIXSTOWE – TERMINAL DE LANDGUARD (REINO UNIDO)

DESCRIÇÃO

- Maior porto de contentores do Reino Unido

ÁREA	
EXTENSÃO DE CAIS	340 m
PROFUNDIDADES	De -11.9m para -13.9m
VARIAÇÃO DE MARÉS	3.92 m
TIPO DE TERMINAL INTERVENCIONADO	Contentores

LOCALIZAÇÃO

- Cidade de Felixstowe no litoral do Estado de Suffolk, Sudeste de Inglaterra.

ESTRUTURA EXISTENTE

- Cortina de Estacas Prancha suportando a parte superior do cais, fundada à cota -19.2m
- Perfis (I) na parte frontal do cais
- Ancoragens ligadas a uma parede de ancoragem, garantem a estabilidade do conjunto
- Características do solo: Areias e cascalhos de compactidade média.

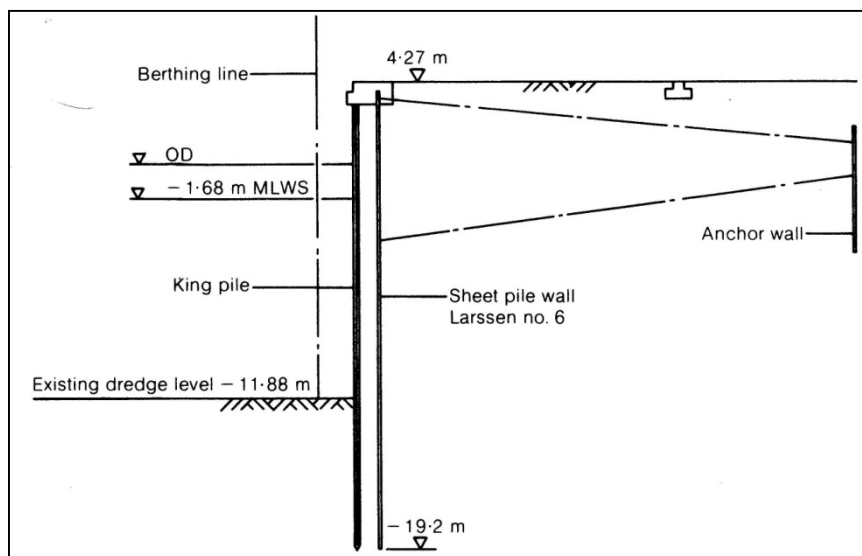


Figura 1 – Perfil transversal anterior à intervenção

OBJECTIVOS

- Com o objectivo de possibilitar a recepção de navios de maior calado, propôs-se o aprofundamento do cais em cerca de 2.15m. Este aumento de profundidade, por sua vez,

introduziria problemas de estabilidade provocados pela redução da ficha das Estacas Prancha e dos perfis (I).

NOVA ESTRUTURA

- Introdução de tubos metálicos circulares com 1.07m de diâmetro no solo, na base do cais até à profundidade -22.5m.
- Enchimento dos tubos com betão
- Preenchimento com betão do espaço entre os tubos colocados e a cortina de estacas prancha existentes, prevenindo o deslocamento da estrutura existente.
- Dragagem até à cota -13.92m

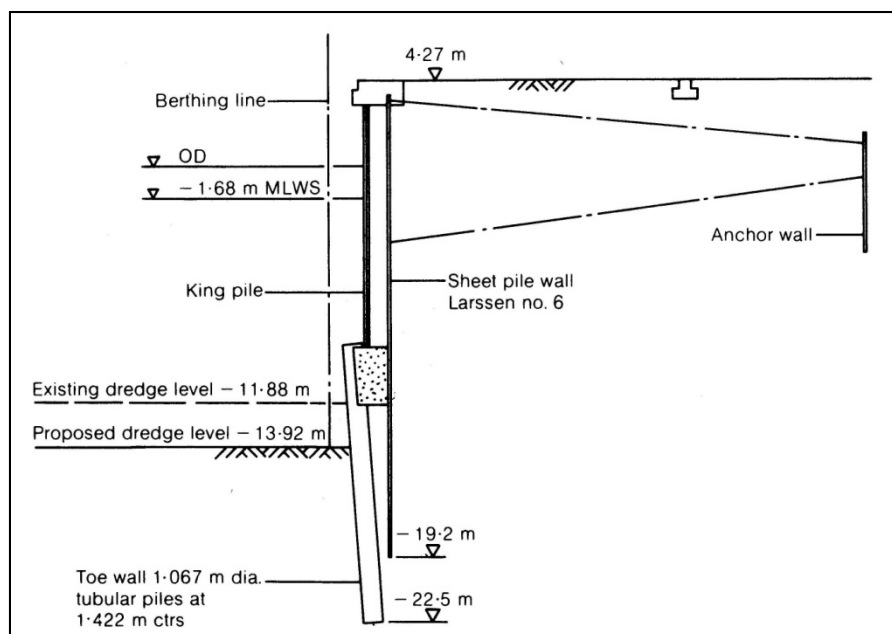


Figura 2 – Perfil transversal posterior à intervenção

DATAS

- A concepção do projecto iniciou-se em Novembro de 1982
- O cais aprofundado ficou operacional em Julho de 1983

FONTES

- Port management and operations at Felixstowe
- <http://www.portoffelixstowe.co.uk/>
- <http://www.tide-forecast.com/>

CAIS DE PREDÖHLKAI – PORTO DE HAMBURGO (ALEMANHA)

DESCRIÇÃO

- Maior porto alemão e o terminal de contentores mais moderno da Europa; Eurogate container terminal

ÁREA	1 400 000 m ²
EXTENSÃO DE CAIS	2 100 m
PROFUNDIDADES	12.15 m
VARIAÇÃO DE MARÉS	4.37 m
TIPO DE TERMINAL INTERVENCIONADO	Contentores

LOCALIZAÇÃO

- Norte da Alemanha, próximo da fronteira deste país com a Dinamarca

ESTRUTURA EXISTENTE

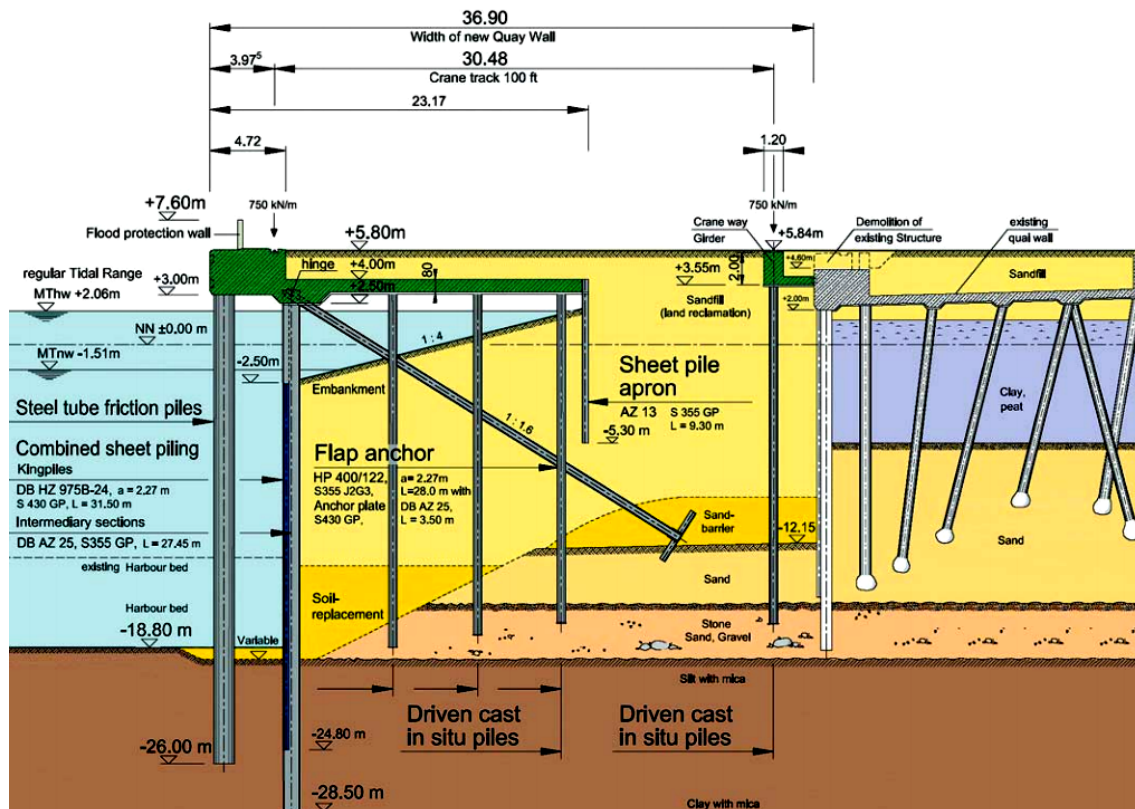
- Cais tipo “Dinamarquês” apoiado em estacas de betão
- Cortina de estacas-prancha na frente do cais
- Solos: Camada superficial argilosa; camada intermédia de areia e camada inferior de solo residual.

OBJECTIVOS

- Criar condições para receber os novos navios porta-contentores com calado superior
- Aumentar a capacidade da plataforma de armazenamento de contentores aumentando a capacidade para 14 milhões de TEU’s (anteriormente 8.5 milhões).

NOVA ESTRUTURA

- Construção de um novo cais com avanço de 37m em direcção ao mar.
- Nova cortina de estacas-prancha na frente do cais com “janelas” na parte superior com 2.5m de altura
- Novo cais constituído por uma estrutura de betão armado suportado por estacas de betão.
- Reforço da frente do cais através da cravação de perfis (I) em aço.
- Parte superior da frente do cais ancorada à parte inferior do novo aterro.
- Construção de uma cortina de estacas-prancha no limite seco da nova superestrutura.



- www.hafen-hamburg.de
- www.tide-forecast.com
- www.arcelormittal.com
- Harbour Construction – Innovative Sheet Pile Solutions for modern ports

CAIS 65 E CAIS 66 – PORTO DE KAOHSIUNG (TAIWAN)

DESCRIÇÃO

- Maior porto comercial internacional de Taiwan

ÁREA	
EXTENSÃO DE CAIS	244m e 440m
PROFUNDIDADES	De -12m para -14.50m
VARIAÇÃO DE MARÉS	1.10m
TIPO DE TERMINAL INTERVENCIÓNADO	Contentores

LOCALIZAÇÃO

- Capital do estado de kaohsiung, Sudoeste da ilha de Taiwan.

ESTRUTURA EXISTENTE

- Parede composta por perfis (I) combinados com estacas prancha.
- Carris dos pórticos assentes em estacas de betão.
- Solo – sem informações

OBJECTIVOS

- Aproveitar a localização estratégica do porto para acelerar o seu crescimento.
- Resposta ao desenvolvimento das dimensões dos navios.
- Maximizar a eficiência do porto.
- Estudo do comportamento da estrutura em situação de ocorrência sísmica.

NOVA ESTRUTURA

- Cravação de uma cortina de estacas prancha submersa na parte frontal da parede já existente.
- Injecção de betão no espaço entre as duas paredes (nova e existente).
- Ancoragem da parte superior da nova cortina de estacas prancha impedindo-a de se deformar consideravelmente.
- Cravação de estacas de betão para suporte dos novos carris dos pórticos.

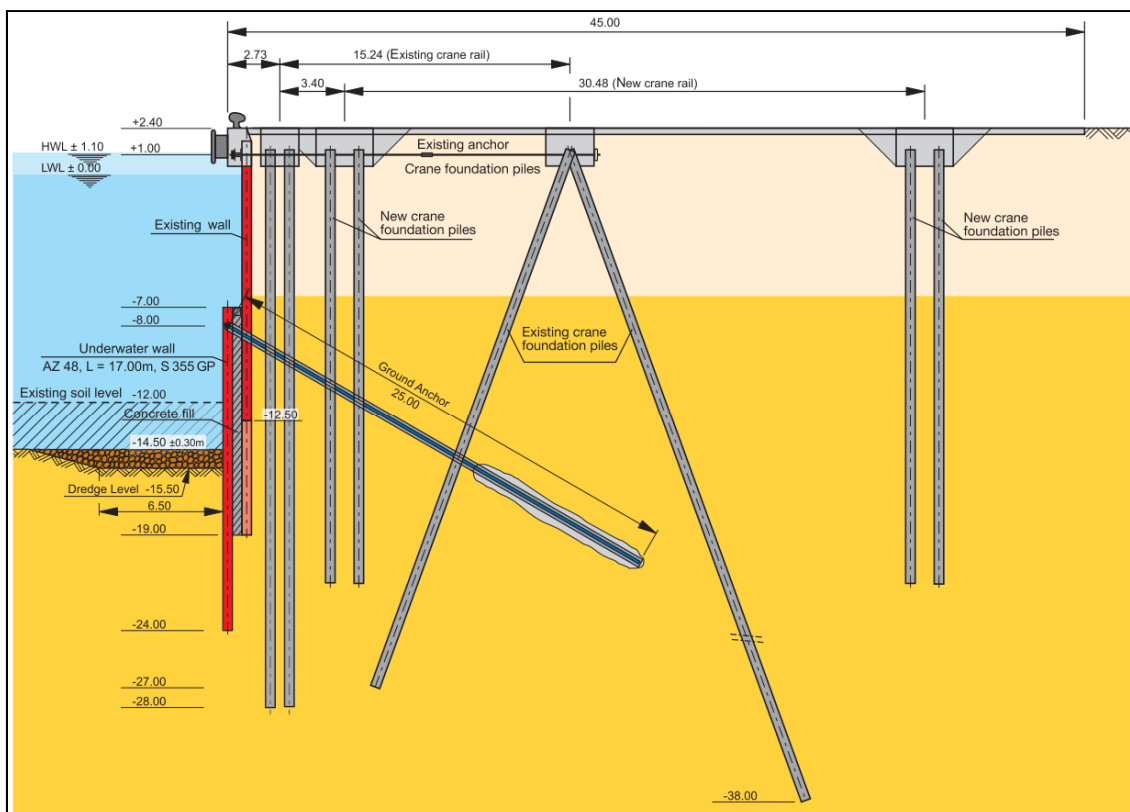


Figura 1 – Perfil transversal posterior à intervenção

DATAS

- Obras realizadas durante o ano de 2007

FONTES

- <http://www.khb.gov.tw/english/index.htm>
- <http://www.arcelormittal.com/sheetpiling/page/index/name/case-studies>
- <http://www.sailwx.info/tides/tidemap.phtml?lat=24.9&lon=119.5&radius=200>

CAIS DE GARIBALDI – PORTO DE LA SPEZIA (ITÁLIA)

DESCRIÇÃO

- Este porto pertence a um conjunto de portos responsáveis pelas exportações das indústrias fixadas no norte de Itália

ÁREA	4 300 m ²
EXTENSÃO DE CAIS	510 m
PROFUNDIDADES	De 7 m para 12 m
VARIAÇÃO DE MARÉS	Inferior a 0.40 m
TIPO DE TERMINAL INTERVENCIONADO	Cargas a granel

LOCALIZAÇÃO

- A média distância entre Génova e Pisa (Noroeste de Itália); zona com maior concentração de portos de Itália;

ESTRUTURA EXISTENTE

- Solução gravítica de betão fundada à cota -9m.
- Solos sem informações disponíveis

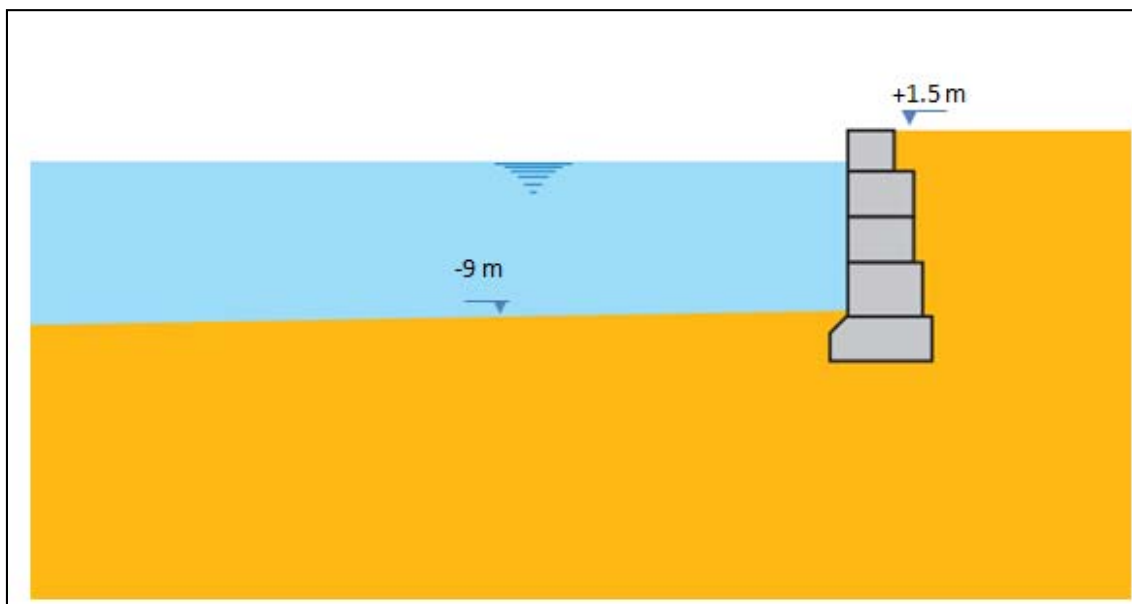


Figura 1 – Perfil transversal anterior à intervenção

OBJECTIVOS

- Reconstrução necessária após os danos ocorridos por altura da Segunda Guerra Mundial
 - Aumento da capacidade do porto para receber navios de maior calado.
 - Ampliação do terrapleno com correspondente aumento da capacidade de armazenamento.
-

NOVA ESTRUTURA

- Nova cortina de estacas-prancha situada cerca de 40m à frente da antiga estrutura gravítica.
 - Reforço da cortina através da cravação de perfis (I).
 - Ancoragem no tardo da parte superior da parede do cais.
-

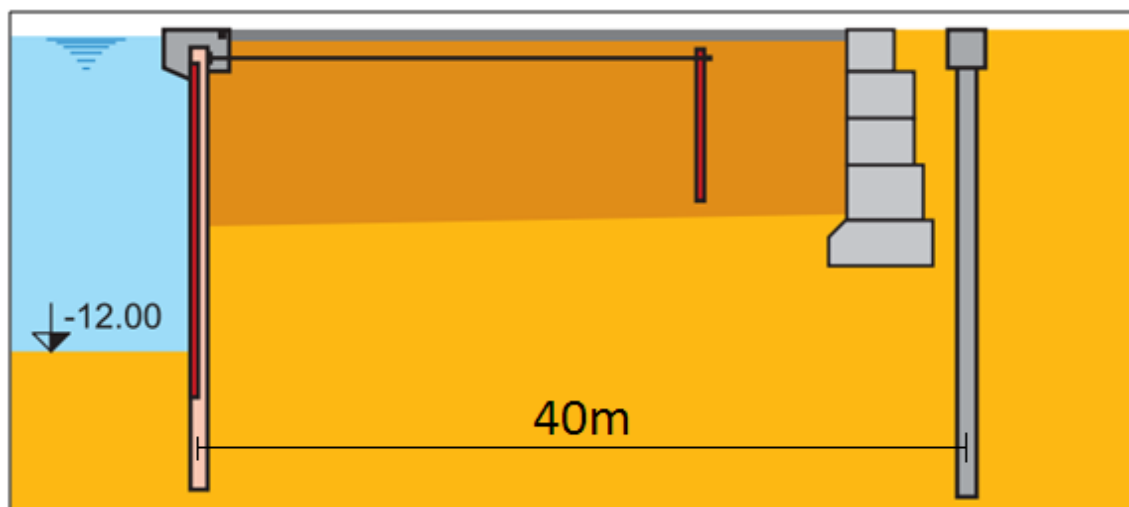


Figura 2 – Perfil transversal posterior à intervenção

DATAS

- Programa de modernização lançado em 1995.
 - Planeamento alargado. Ainda existem obras em execução.
-

FONTES

- www.portolaspezia.it
- Harbour Construction – Innovative sheet piles solutions for modern ports.

PORTO DE MERSIN (TURQUIA)

DESCRIÇÃO

- Algo que caracterize o porto

ÁREA	624m
EXTENSÃO DE CAIS	De 6m para 12m
PROFUNDIDADES	Cerca de 0.60m
VARIAÇÃO DE MARÉS	Contentores
TIPO DE TERMINAL INTERVENCIÓNADO	

LOCALIZAÇÃO

- Costa sudeste da Turquia (mar mediterrâneo).

ESTRUTURA EXISTENTE

- Solução gravítica de betão fundada à cota -7m possibilitando uma profundidade de -6m.
- Solo: Aterro granular sobre uma camada de argila com coesão entre os 5 e os 10 kN/m².

OBJECTIVOS

- Aumentar a profundidade do cais com o objectivo de receber navios de maior calado.
- Modernização do porto com instalação de novos pórticos.
- Aumento da capacidade resistente do cais a condições sísmicas dada a sua posição em terreno favorável a tais ocorrências.

NOVA ESTRUTURA

- Cortina de estacas-prancha cravadas 12m à frente da antiga estrutura.
- Tubos de aço de 24" de diâmetro e espessura de 14 mm garantem a estabilidade da estrutura.

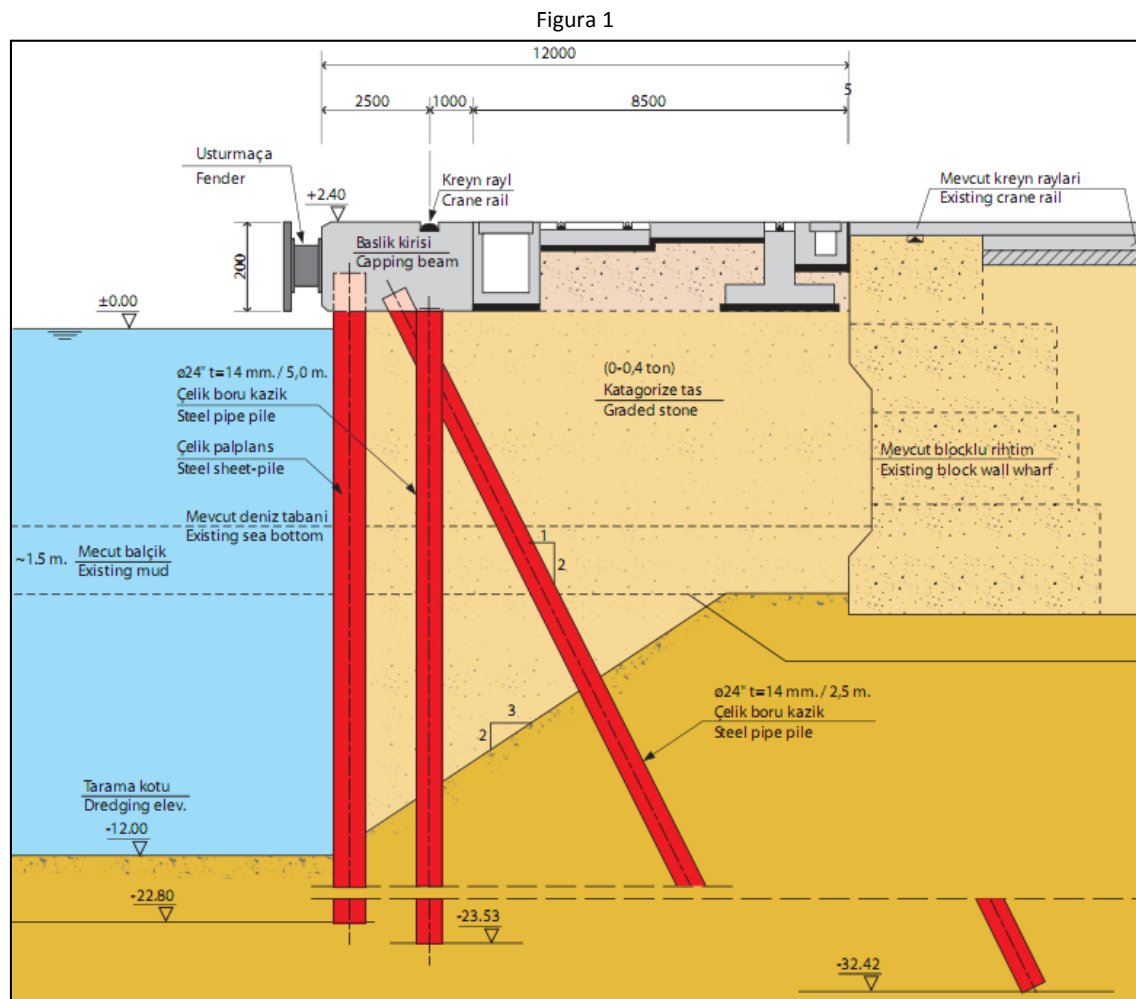


Figura 1 – Perfil transversal posterior à intervenção

DATAS

- Data limite de apresentação de propostas – Setembro de 2002
- Início da construção – Finais de 2003
- Fim da construção – Finais de 2005

FONTES

- Harbour construction – innovative sheet pile solutions for modern ports
- http://www.tcdd.gov.tr/tcdding/mersin_ing.htm
- <http://www.lethagencies.com/port.asp?port=MERSINTR>

PORTO DE SEATTLE – TERMINAL 5 (U.S.A.)

DESCRIÇÃO

- Oitavo porto com mais movimento de contentores em 2007

ÁREA	740 000 m ²
EXTENSÃO DE CAIS	884 m
PROFUNDIDADES	14 a 15 m
VARIAÇÃO DE MARÉS	5.27 m
TIPO DE TERMINAL INTERVENCIONADO	Contentores

LOCALIZAÇÃO

- Cidade situada a oeste do estado de Washington, Estados Unidos da América

ESTRUTURA EXISTENTE

- Tardoiz suportado por estacas fundadas a cotas desde os 19.8m até aos 29m.
- Cortina de estacas prancha permite um aumento de estabilidade do maciço que serve de base à zona mais interior do terminal.
- Estacas situadas no limite do terminal defendem a estrutura do efeito do impacto dos navios.
- Tipo de solo: mistura de areia de média densidade e areia siltosa.
- Camada de rip rap na zona do tardoiz apoiado por estacas.

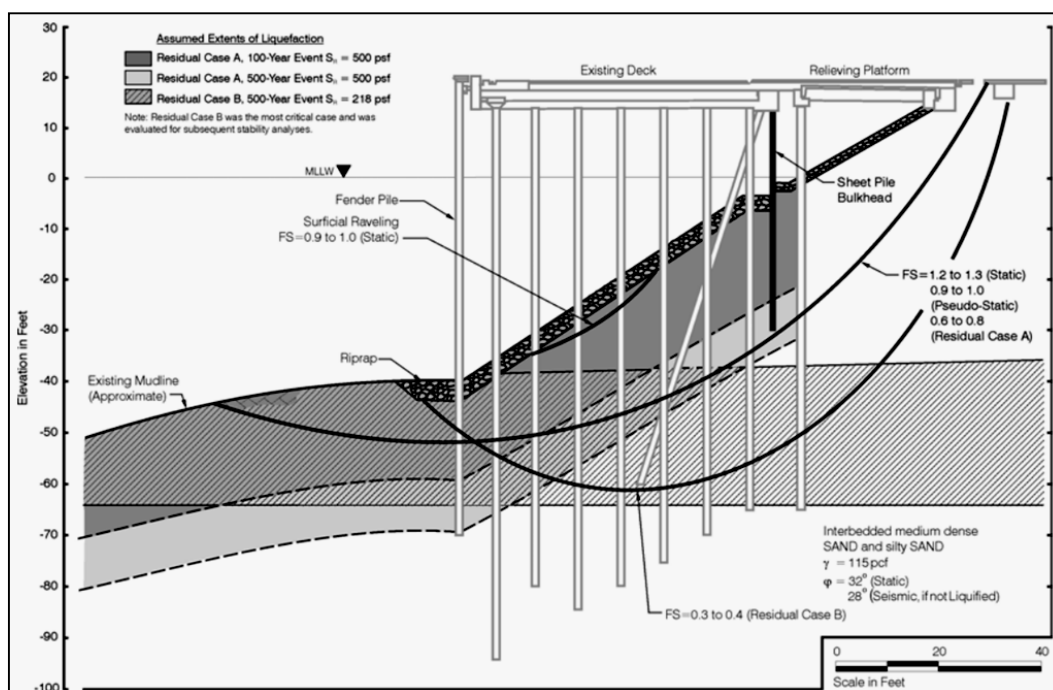


Figura 1 – Perfil transversal anterior à intervenção

OBJECTIVOS

- Aprofundamento do cais tendo em vista a possibilidade de serem recebidos navios de maior calado (post-panamax). Este aprofundamento implicaria alterações na estabilidade do maciço (redução da ficha das estacas) assim como na camada de riprap. Necessidade de rever o comportamento da estrutura às condições sísmicas nomeadamente ao risco de liquefacção das areias.
- Aprofundamento variável consoante a zona do terminal
 - Norte (extensão de 305m) – aprofundamento na ordem dos 3m para uma profundidade próxima da cota -15m.
 - Centro (extensão de 305m) – aprofundamento na ordem dos 3m para uma profundidade próxima da cota -15m.
 - Sul (extensão de 225m) – aprofundamento na ordem dos 1.5m para uma profundidade próxima da cota -14m.
- Dois níveis de acções sísmicas susceptíveis de provocar liquefacção das areias:
 - Situação de nível operacional - tempo de retorno de 72 anos (50% de probabilidade de excedência em 50 anos)
 - Situação de nível de contingência – tempo de retorno de 475 anos (10% de probabilidade de excedência em 50 anos)

NOVA ESTRUTURA

- Reforço na base do maciço através da colocação de uma cortina de estacas prancha ou perfis (I) entre as estacas existentes no local.
- Caso haja necessidade, colocação de estacas perpendiculares à camada de riprap

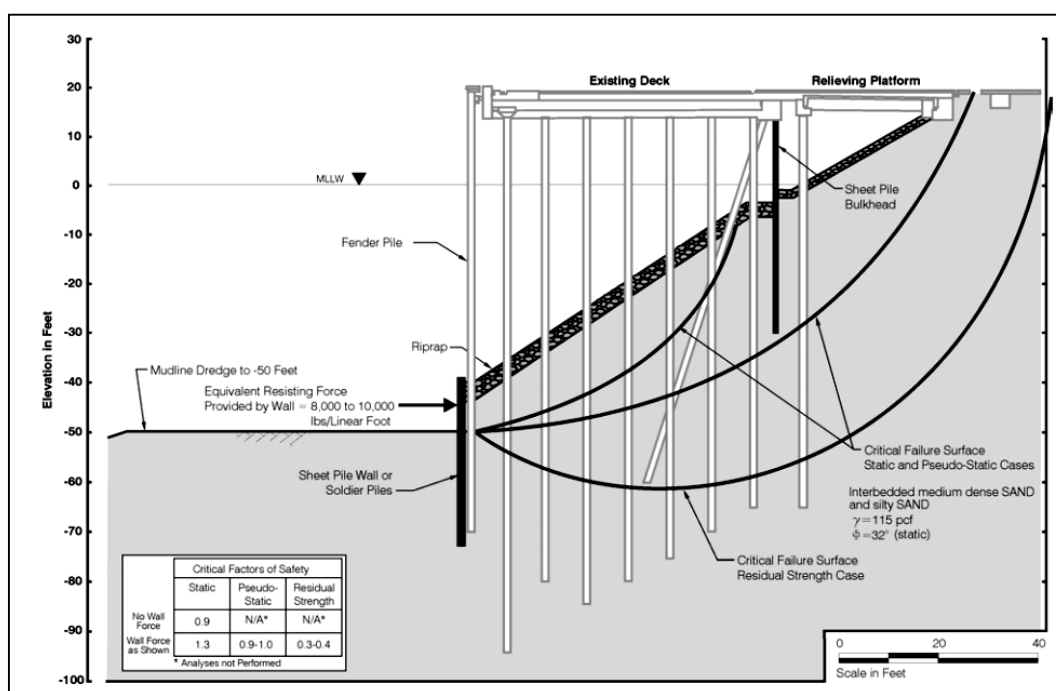


Figura 2 – Perfil transversal posterior à intervenção (apenas usando a cortina de estacas prancha ou os perfis (I))

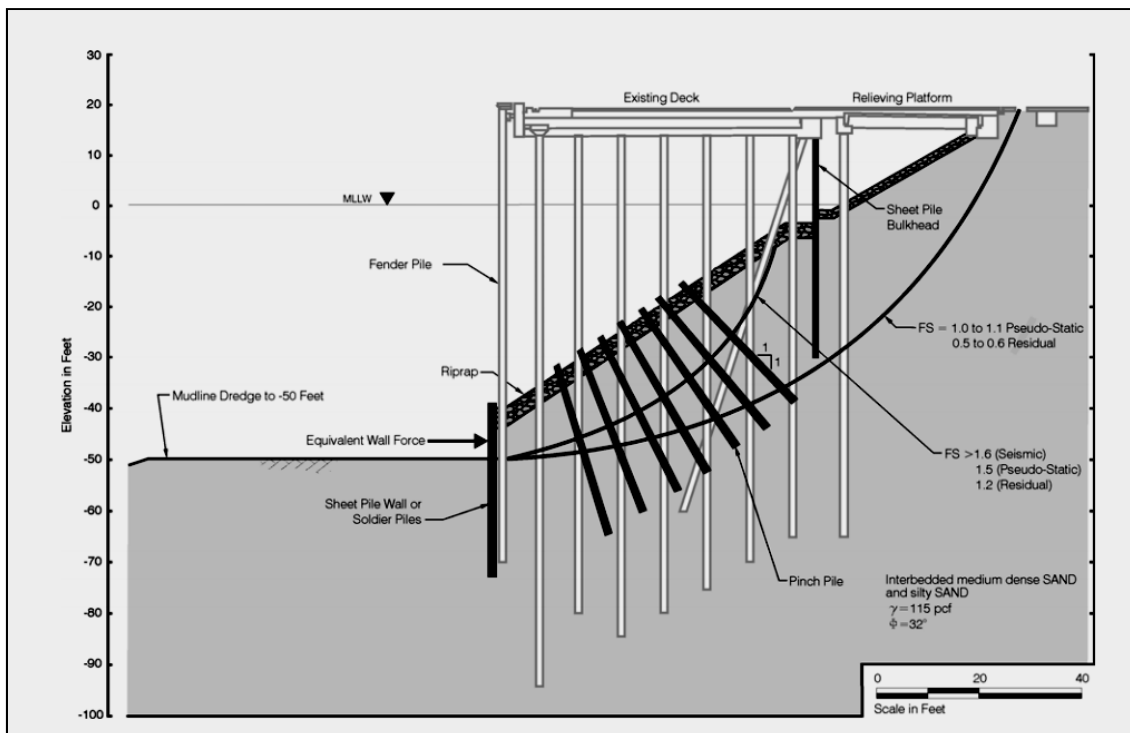


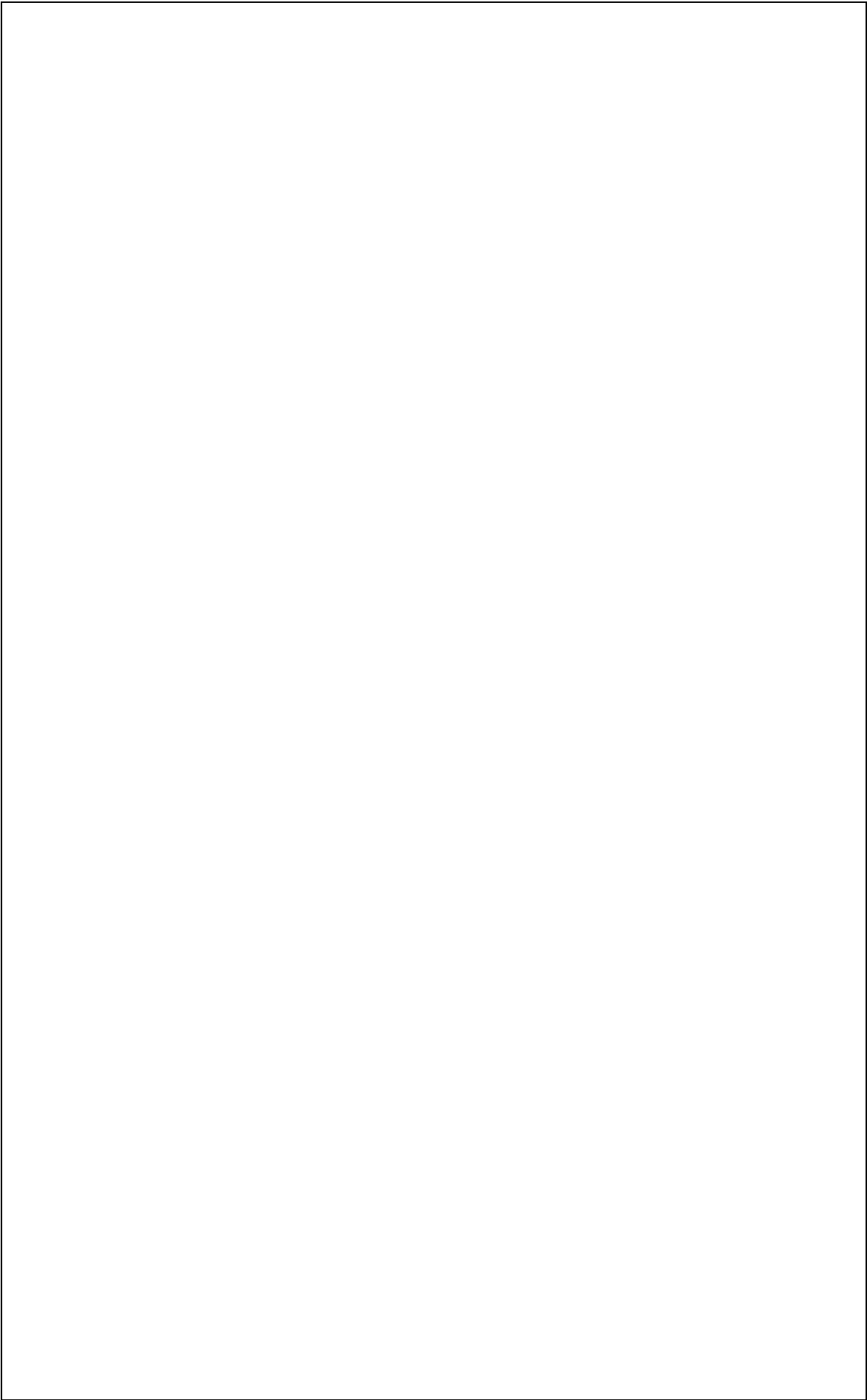
Figura 3 – Perfil transversal posterior à intervenção (recorrendo igualmente às estacas perpendiculares ao riprap)

DATAS

- Finalizado na primavera de 1999
- Colocação das estacas (pinch piles) transversalmente à camada de riprap prevista para 2000

FONTES

- <http://www.portseattle.org/>
- Deepening and seismic rehabilitation of the terminal 5 wharf, port of Seattle.
- <http://www.tide-forecast.com/>



CAIS 36 – PORTO DE SEATTLE (U.S.A.)

DESCRIÇÃO

- Cais pertencente à Guarda Costeira dos Estados Unidos da América

ÁREA	
EXTENSÃO DE CAIS	300m
PROFUNDIDADES	De -3m para -12m
VARIAÇÃO DE MARÉS	5.27m
TIPO DE TERMINAL INTERVENCIÓNADO	Guarda Costeira

LOCALIZAÇÃO

- Cidade pertencente ao estado de Washington, costa leste dos Estados Unidos da América
-

ESTRUTURA EXISTENTE

- Super-estrutura de betão armado apoiada em estacas de betão
 - Solo: Parte inferior composta por lama; parte superior composta por enrocamento graduado (areia, cascalho e pedras) com uma camada superficial de betão.
-

OBJECTIVOS

- Aumentar a profundidade do cais tendo em vista a possibilidade de receber nesse cais os novos navios da Guarda Costeira com calados significativamente maiores.
 - Avaliar a resposta ao sismo da estrutura dada a situação geográfica do porto.
-

NOVA ESTRUTURA

- Construção de uma cortina de estacas prancha submersa para suportar a camada de enrocamento existente sob a super-estrutura. Optou-se por uma parede combinada entre perfis HZ 975 D – 24 e estacas prancha AZ 19.
 - Cravação de estacas de betão pré-fabricadas.
 - Execução de laje em betão armado abrangendo o topo de todas as estacas pré-fabricadas.
 - Painéis pré-fabricados de betão armado apoiados sobre a laje.
 - Colocação de um novo sistema de defensas.
 - Protecção catódica dos elementos metálicos sujeitos a erosão.
-

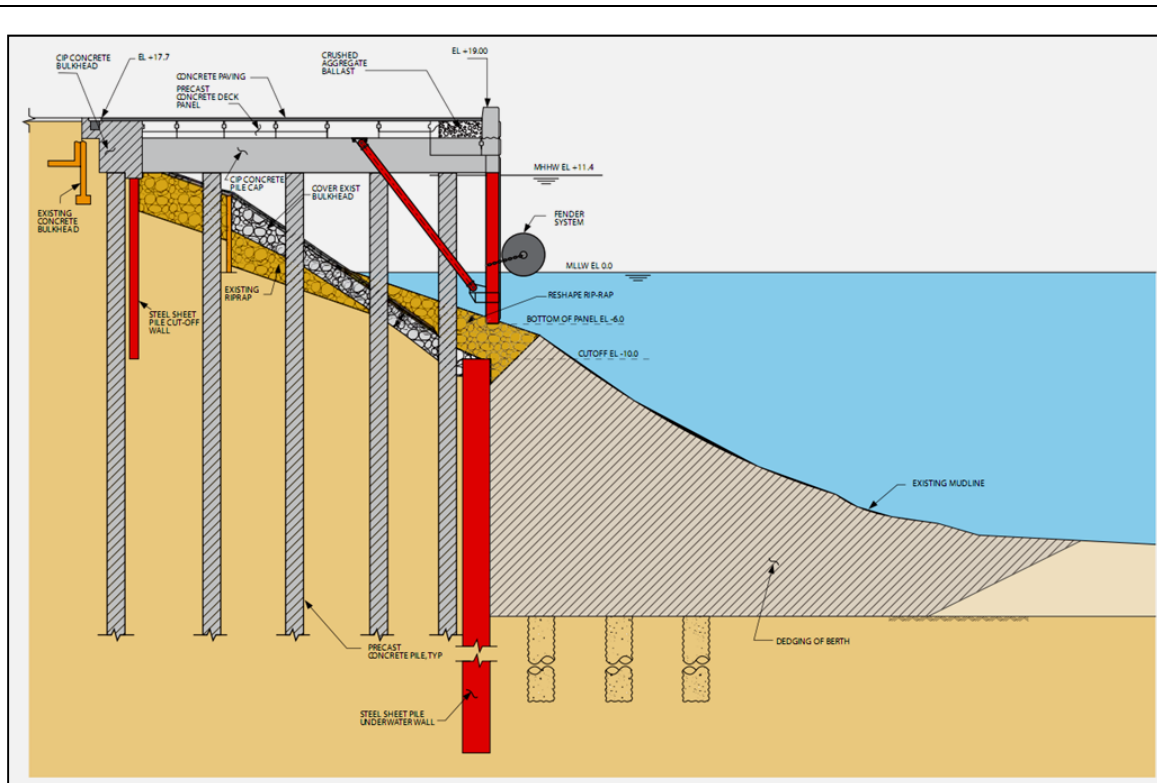


Figura 1 – Perfil transversal posterior à intervenção

DATAS

- Decisão de aprofundar tomada em 2003.

FONTES

- <http://www.arcelormittal.com/sheetpiling/page/index/name/case-studies>
- <http://www.tide-forecast.com/>
- <http://www.portseattle.org/>

ELIZABETH MARINE TERMINAL (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA)

DESCRIÇÃO

- Porto de entrada de Nova Iorque

ÁREA	
EXTENSÃO DE CAIS	350m
PROFUNDIDADES	De 10m para 15.2m
VARIAÇÃO DE MARÉS	Inferior a 2.50m
TIPO DE TERMINAL INTERVENCIÓNADO	Contentores

LOCALIZAÇÃO

- Situa-se na foz do Rio Hudson, costa Este dos Estados Unidos da América.

ESTRUTURA EXISTENTE

- Super-estrutura de betão suportada por pilares de madeira.
- Ancoragens fornecem a estabilidade lateral da estrutura do cais.
- Carris dos pórticos suportados por estacas de madeira e betão.
- Solo: camada superficial siltosa; camada intermédia composta por areia densa com argila e uma camada inferior de saibro e xisto.

OBJECTIVOS

- Aumentar a profundidade do cais permitindo receber navios de maior calado – Post Panamax.
- Colocação de pórticos mais altos e com maior alcance obrigaram a um reforço da fundação dos carris sobre os quais iriam assentar.
- Aumento das forças de acostagem/amarração obrigaram a reforço da estrutura.
- Necessidade de fazer uma análise à estrutura em situações sísmicas à luz dos novos regulamentos.

NOVA ESTRUTURA

- Instalação de uma parede de estacas prancha ligadas a perfis (I) cravados a profundidades elevadas para aumento da resistência:
 - Perfis com cerca de 24m de comprimento
 - Estacas prancha com 7.5m de comprimento
- Substituição de algumas estacas de madeira.
- Ancoragem do topo dos perfis (I).

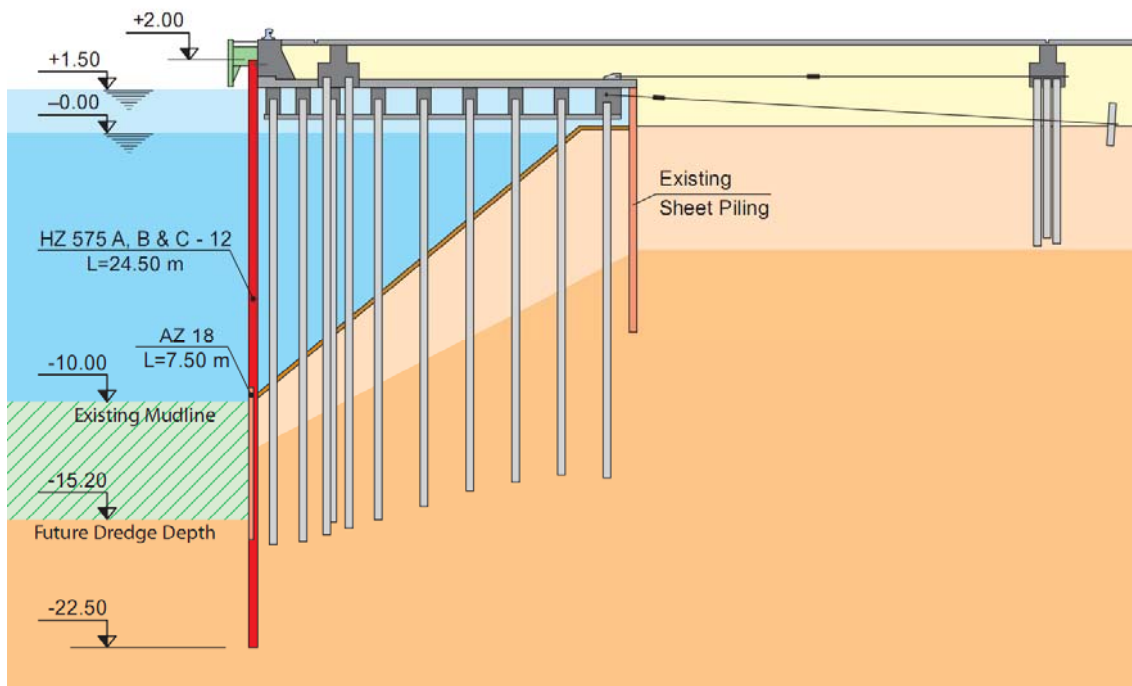


Figura 1 – Perfil transversal posterior à intervenção



Figura 2 – Parede combinada por HZ 575 King Piles / AZ 18 Sheet Piles

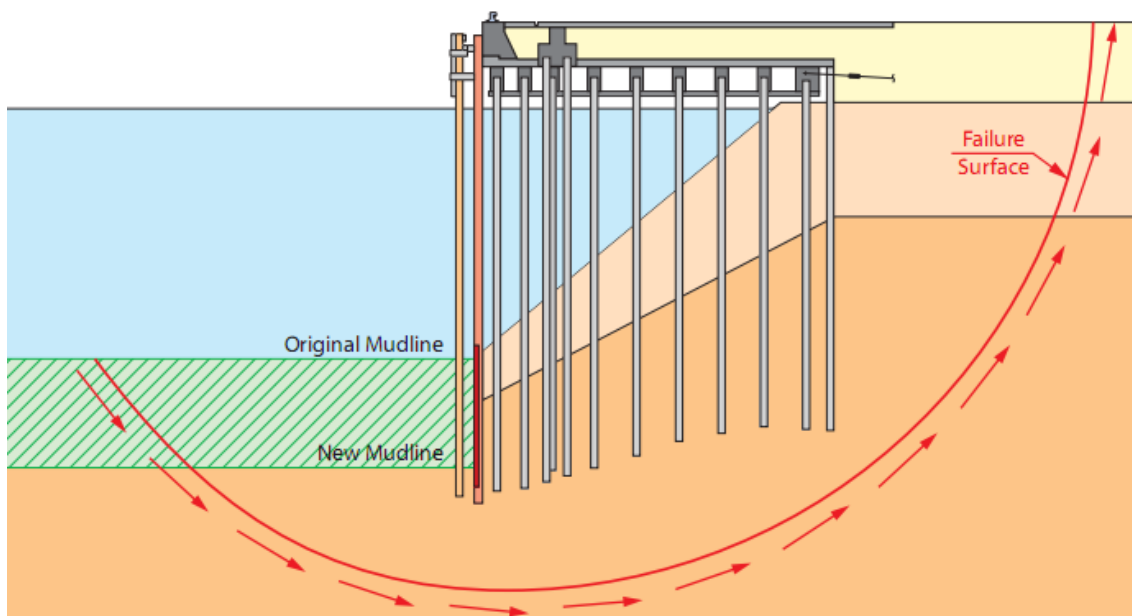


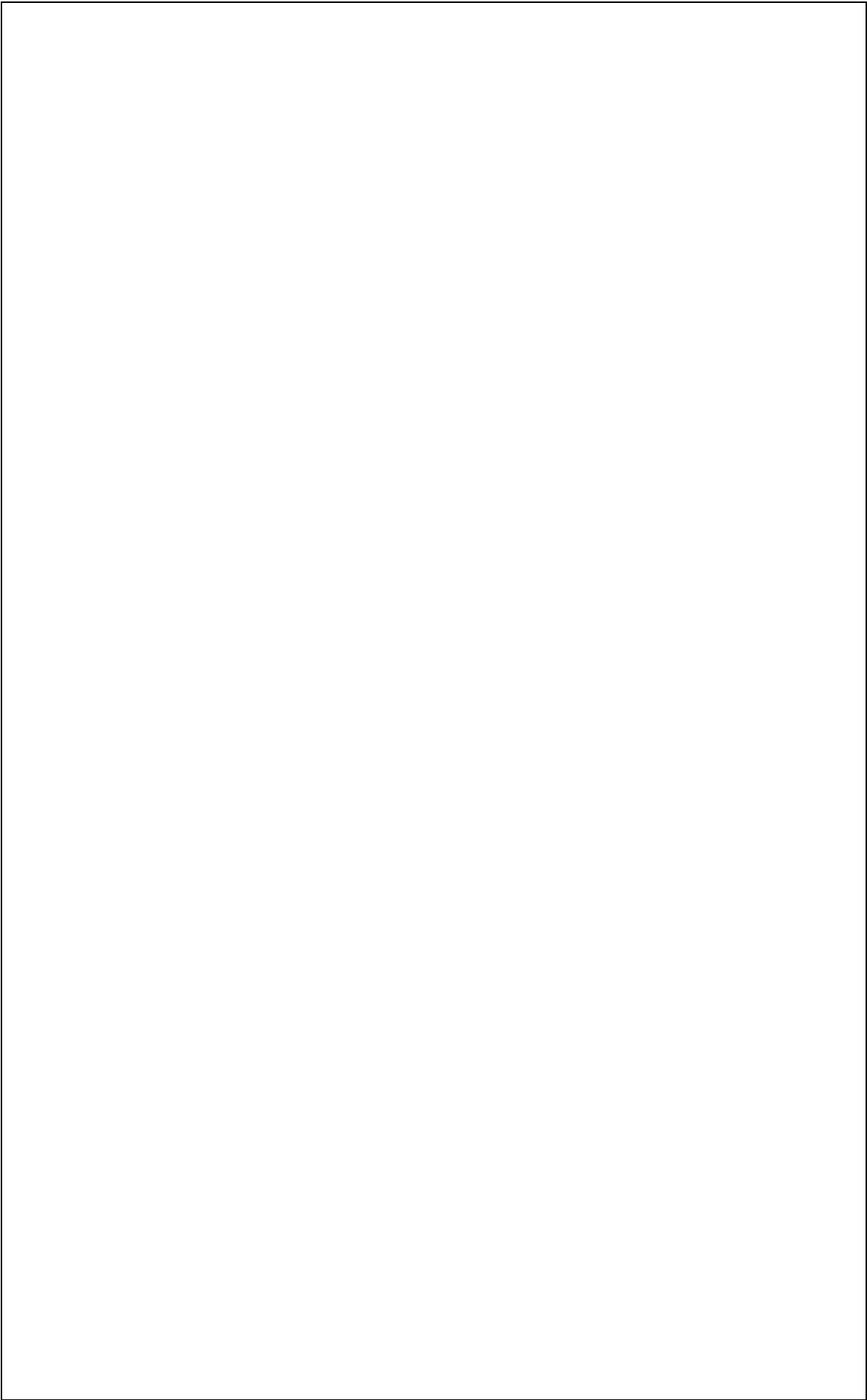
Figura 3 – Superfície de escorregamento em situação de sismo

DATAS

- Projecto lançado em Janeiro de 2002
 - Espera que a construção esteja concluída em 2009
-

FONTES

- <http://www.pnct.net/>
- http://www.panynj.gov/DoingBusinessWith/seaport/html/pn_elizabeth.html
- <http://www.tide-forecast.com/>



TERMINAL HOWLAND HOOK – PORTO NEWARK/ELIZABETH (U.S.A.)

DESCRIÇÃO

- Porto comercial de entrada de Nova Iorque

ÁREA

EXTENSÃO DE CAIS

PROFUNDIDADES

De -12m para -15.8m

VARIAÇÃO DE MARÉS

Inferior a 2.5m

TIPO DE TERMINAL INTERVENCIÓNADO

Contentores

LOCALIZAÇÃO

- Situa-se na foz do Rio Hudson, costa Este dos Estados Unidos da América.
-

ESTRUTURA EXISTENTE

- Super-estrutura de betão apoiada sobre estacas de betão e aço
 - Cortina de estacas prancha na zona anterior à super-estrutura.
 - Solo – Camada lódica entre o “bed rock” e enrocamento.
-

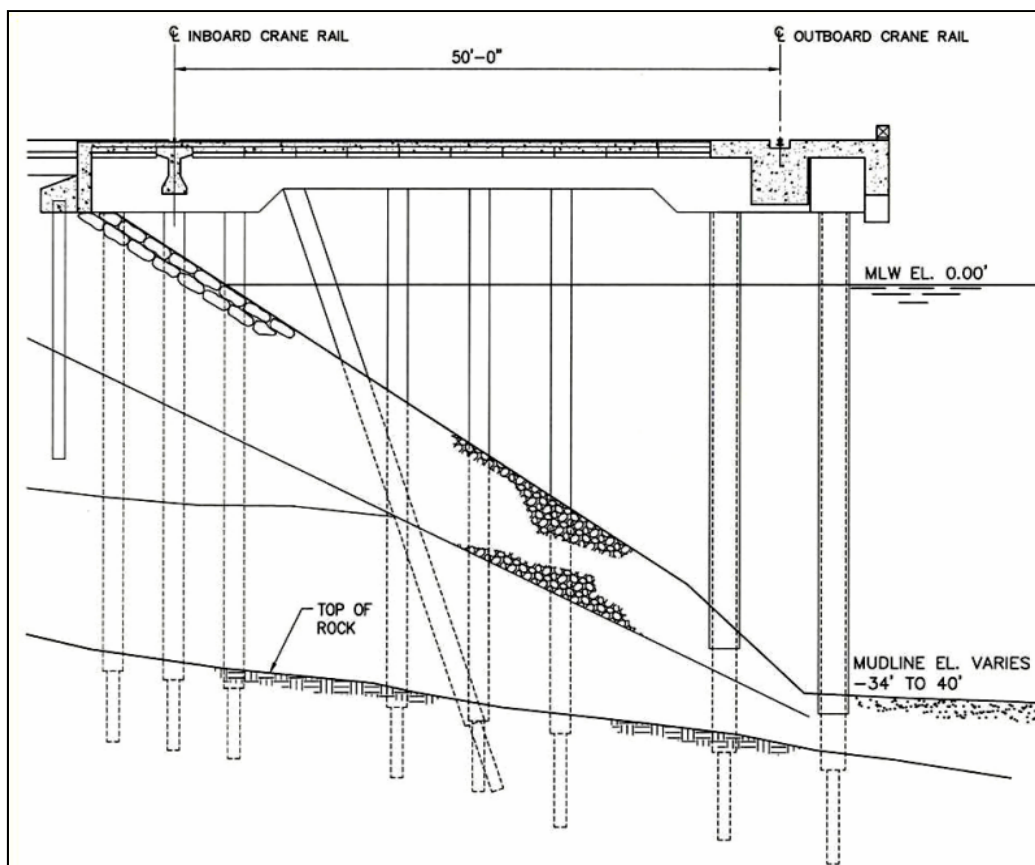


Figura 1 – Perfil transversal anterior à intervenção (medidas em pés)

OBJECTIVOS

- Aumentar a profundidade do cais tendo em vista a possibilidade de acostagem e amarração de navios de maior calado.
- Simular o comportamento da estrutura em condições sísmicas.
- Modernizar o porto com instalação de novos pórticos.

NOVA ESTRUTURA

- Cravação de uma cortina de estacas prancha numa zona ligeiramente interior da base do cais.
- Execução de novas estacas de fundação aos carris dos novos pórticos.

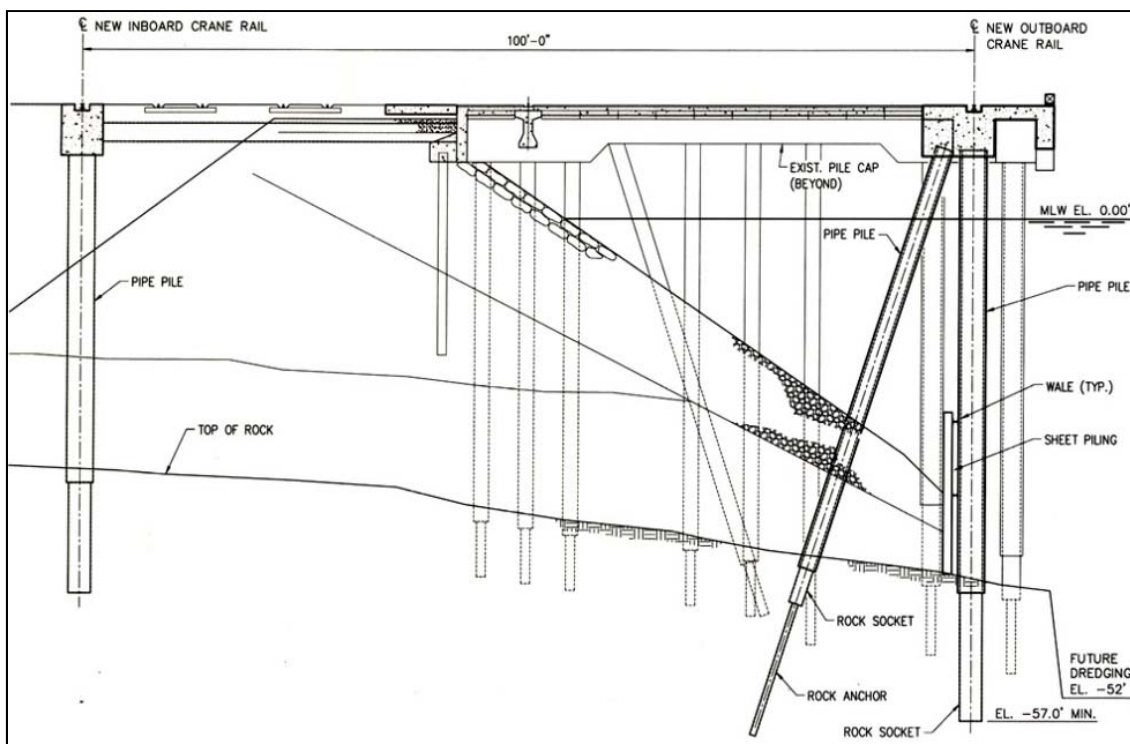
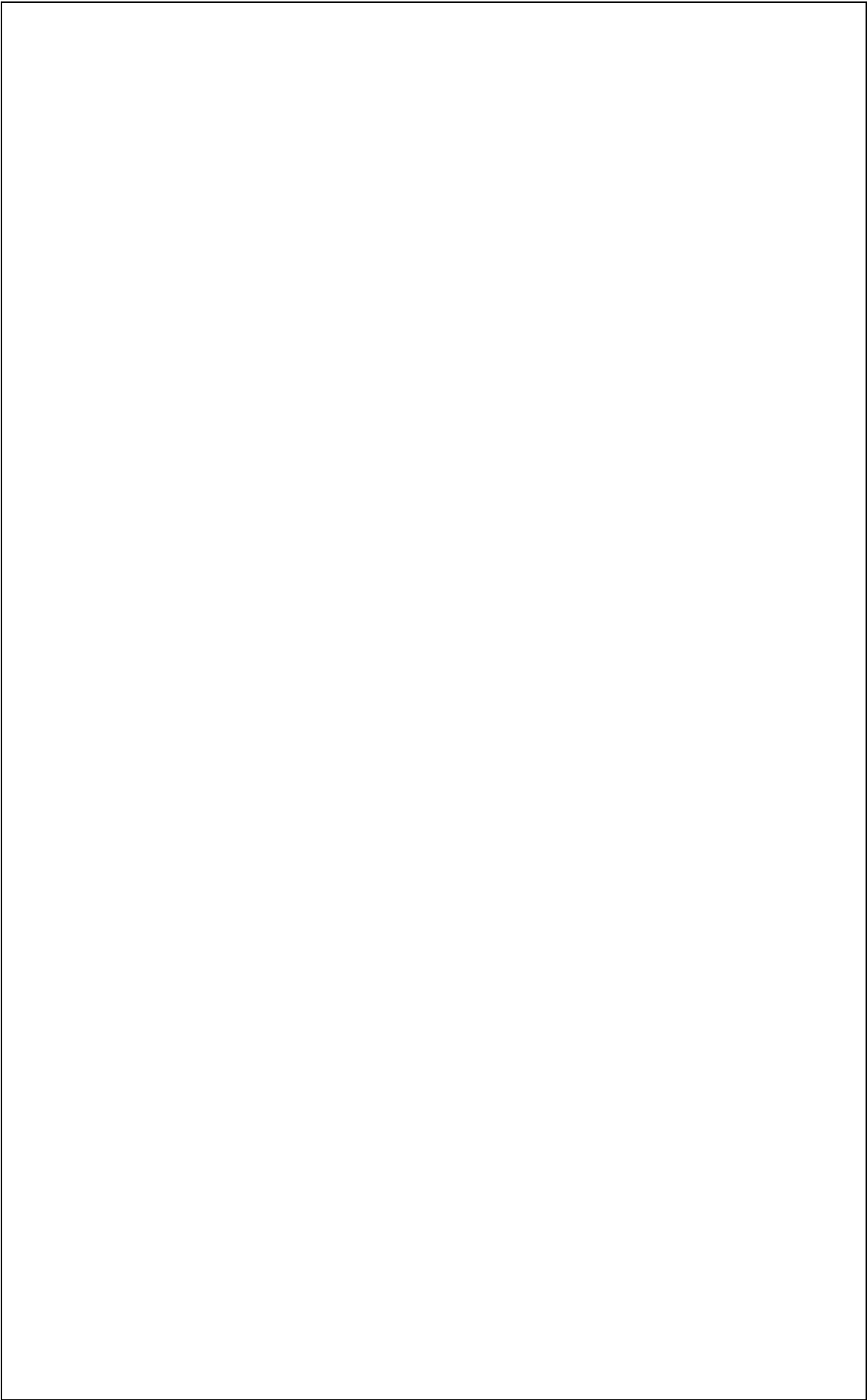


Figura 2 – Perfil transversal posterior à intervenção (medidas em pés)

FONTES

- http://www.panynj.gov/DoingBusinessWith/seaport/html/howland_hook.html
- <http://www.pnct.net/>
- <http://www.tide-forecast.com/>
- "Crane Loads As They Affect Wharf Design", Dennis Padron, Executive Vice President, HPA



TERMINAIS ALBERTDOCK AND HARBOURDOCK – PORTO ANTWERP (BELGIUM)

DESCRIÇÃO

- Um dos maiores portos mundiais

ÁREA	
EXTENSÃO DE CAIS	
PROFUNDIDADES	De -8m para -10.5m
VARIAÇÃO DE MARÉS	Quase 5m
TIPO DE TERMINAL INTERVENCIÓNADO	Contentores

LOCALIZAÇÃO

- Cidade do norte da Bélgica.

ESTRUTURA EXISTENTE

- Estrutura gravítica de blocos.
- Solo – Sem informações disponíveis.

OBJECTIVOS

- Aumentar a profundidade do cais tendo em vista a possibilidade de acostagem e amarração de navios de maior calado.
- Modernizar o porto com instalação de novos pórticos.

NOVA ESTRUTURA

- SOL1 - Execução de uma CombiWall (Pilares de aço e cortina de estacas-prancha) e ancoragem no tardoz.
- SOL2 - Reforço da fundação com recurso à técnica do Jet Grouting e ancoragem no tardoz.
- Execução de novas estacas de fundação aos carris dos novos pórticos.

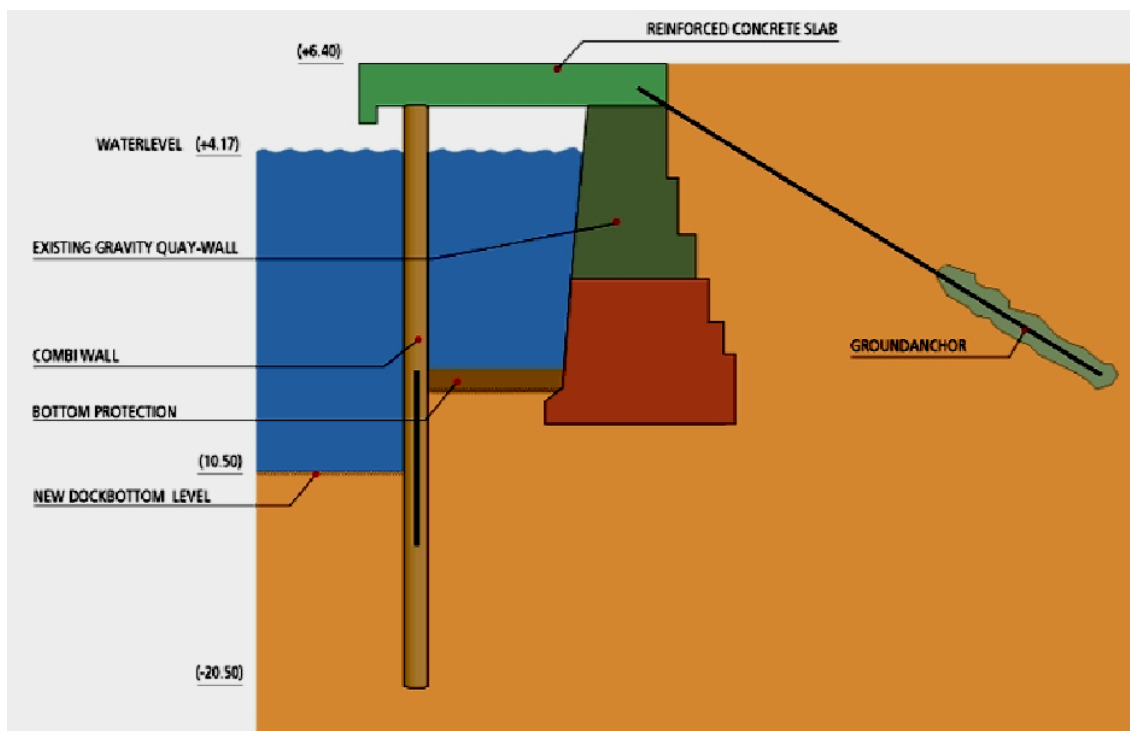


Figura 1 – Perfil da Solução 1 após intervenção

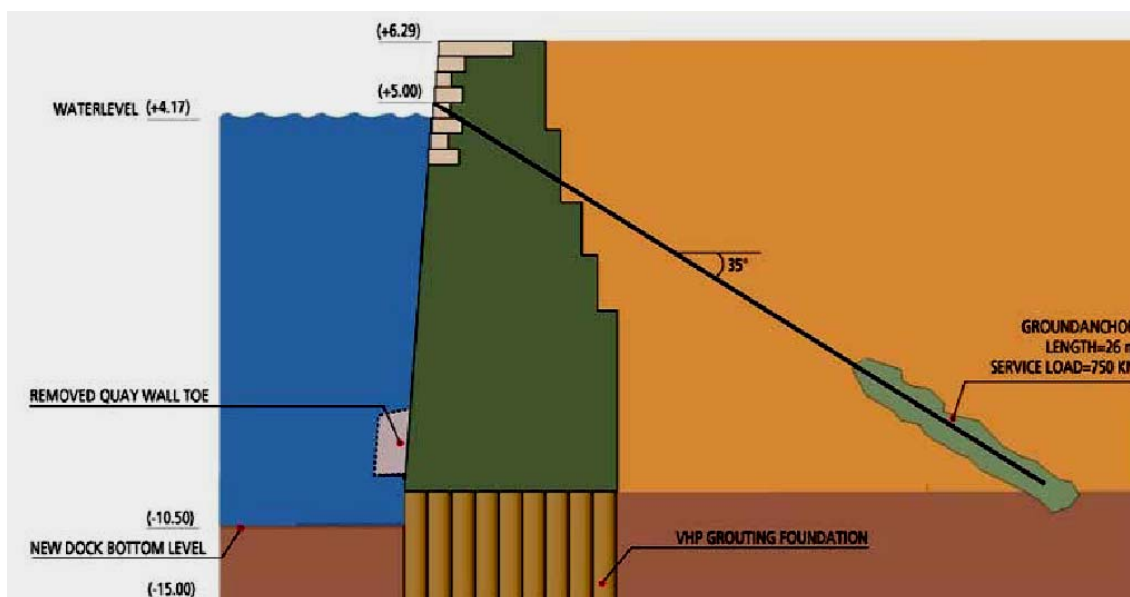


Figura 2 – Perfil transversal posterior à intervenção (medidas em pés)

FONTES

- <http://www.tide-forecast.com/>
- “Quay Walls: Design, standards, construction upgrading and renovation techniques” – Manu Vandamme (Antwerp Port Authority)

PORTO DE SANTOS (BRASIL)

DESCRIÇÃO

- Maior porto do Brasil e da América Latina

ÁREA	7 000 000 m ²
EXTENSÃO DE CAIS	13 013 m
PROFUNDIDADES	5 a 13,5 m
VARIAÇÃO DE MARÉS	5,5 m
TIPO DE TERMINAL INTERVENCIONADO	Granel (açúcar)

LOCALIZAÇÃO

- Cidade de Santos no litoral do Estado de São Paulo, Brasil.
-

ESTRUTURA EXISTENTE

- Cais suportado por 4 linhas de estacas com dimensões 37.5cm x 37.5cm x 25.50m
 - Estacas prancha de betão com 40cm de espessura e 50 cm de largura com cerca de 18.50m de comprimento.
 - Características do solo: argila orgânica e aterro de areia média e grossa
-

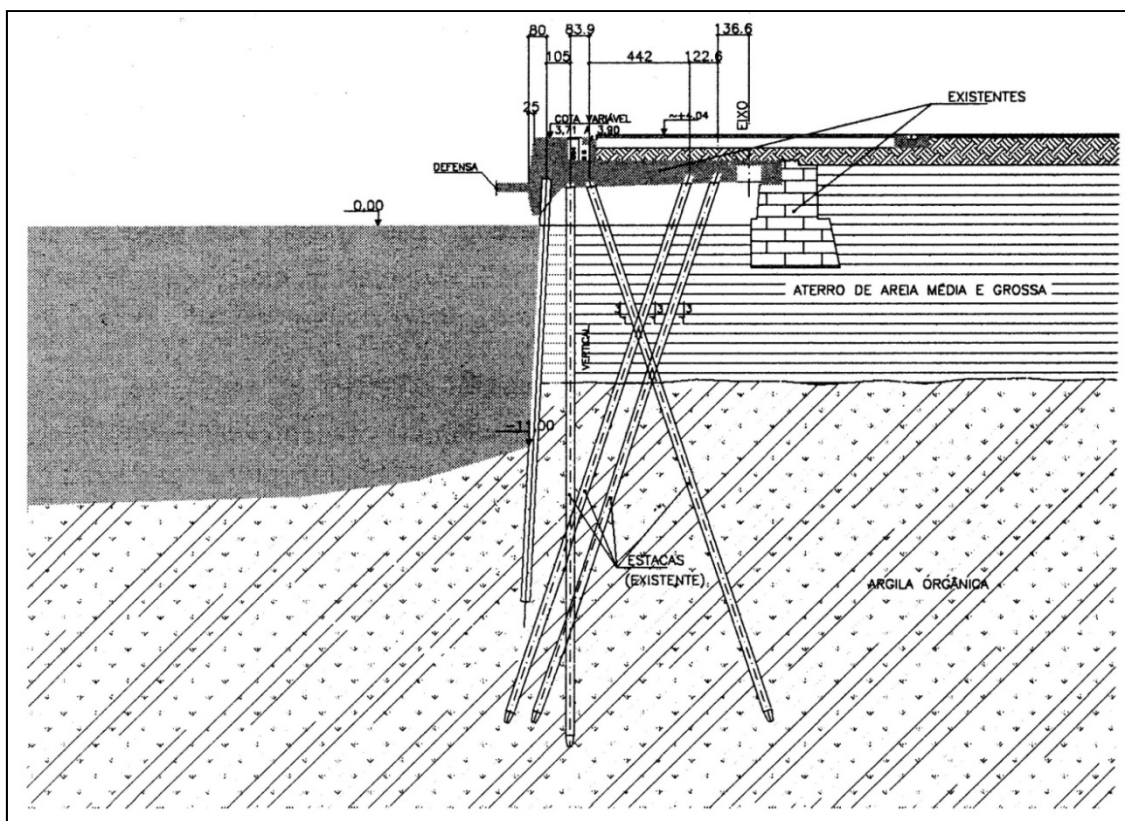


Figura 1 – Perfil transversal anterior à intervenção

OBJECTIVOS

- Aprofundamento do cais em cerca de 1.30m tendo em vista a possibilidade de serem recebidos navios de maior calado (até DWT 80 mil toneladas). Este aumento de profundidade implicaria a redução da ficha das cortinas de 5.40m para 4.10m, o que introduziria problemas de estabilidade.

NOVA ESTRUTURA

- Das várias hipóteses estudadas, eliminaram-se as que levavam a uma redução significativa da capacidade operacional do porto durante a construção (aumentar as estacas prancha obrigava à sua colocação em série)
- Executar colunas de Jet Grouting justapostas às estacas prancha existentes, aumentando a ficha da estrutura de contenção em 6m.
- Garantir a estabilidade da estrutura existente não alterando, de preferência, o carregamento da mesma
- Introduzir perfis metálicos nas colunas de Jet Grouting para reforço da resistência à flexão.
- Realizada uma investigação geotécnica completa, composta por ensaios de penetração dinâmica (SPT), ensaios Vane Test e ensaios triaxiais em laboratório.

DATA

- A obra foi realizada em 2006.
-

FONTES

- www.portodesantos.com
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Porto_de_Santos
- www.tide-forecast.com
- “Utilização da técnica de Jet Grouting para o aumento do calado de cais”

